



حكومة إقليم كوردستان ــ العراق
وزارة التربية ــ المديرية العامة للمناهج والمطبوعات

العلــوم للجميــع

عِلمُ الأحيـاء

كتاب الطالب - الصف الثاني عشر العلمي

الطبعة السادسة
٢٠١٥م / ٢٧١٥ كوردي / ١٤٣٦ هـ

الأشراف الفني على الطبع
عثمان پيرداود كواز
آمانج اسماعيل عبدي

المحتوياتُ

الوَحْدة 1 أجهزةُ جسمِ الإنسانِ 2

الفصلُ 1

الجهازُ الهيكليُّ والجهازُ العضليُّ 4

1ـ1 تنظيمُ جسمِ الإنسانِ 5
1ـ2 الجهازُ الهيكليُّ 9
1ـ3 الجهازُ العضليُّ 15
مراجعةُ الفصلِ 21

الفصلُ 2

الجهازُ الدوريُّ والجهازُ التنفُّسيُّ 24

2ـ1 الجهازُ الدوريُّ 25
2ـ2 الدمُ 32
2ـ3 الجهازُ التنفُّسيُّ 38
مراجعةُ الفصلِ 43

الفصلُ 3

أجهزةُ الجسمِ الدفاعيَّةُ 46

3ـ1 الدفاعاتُ العامّةُ 47
3ـ2 الدفاعاتُ الخاصّةُ: جهازُ المناعةِ 51
3ـ3 مرضُ الإيدز 60
مراجعةُ الفصلِ 63

الفصلُ 4

الجهازُ العصبيُّ وأعضاءُ الحِسّ 66

1.4 الخلايا العصبيةُ والسيالاتُ العصبيُّة ... 67
2.4 تركيبُ الجهازِ العصبيِّ ... 72
3.4 المستقبلاتُ الحِسيَّة ... 78
4.4 العقاقيرُ والجهازُ العصبيُّ ... 83
مراجعةُ الفصلِ ... 87

الفصلُ 5

جهازُ الغددِ الصمّاءِ 90

1.5 الهرموناتُ ... 91
2.5 الغددُ الصمّاءُ ... 94
مراجعةُ الفصلِ ... 103

الفصلُ 6

الجهازُ التناسليُّ 106

1.6 الجهازُ التناسليُّ الذكريُّ ... 107
2.6 الجهازُ التناسليُّ الأنثويُّ ... 110
3.6 الحملُ ... 114
مراجعةُ الفصلِ ... 119

الوحدةُ 2 علمُ الوراثةِ والتقنيّةُ الحيويّةُ 122

الفصلُ 7

أسسُ علمِ الوراثةِ 124

1.7 أعمالُ مندل ... 125
2.7 التزاوجاتُ الوراثيّةُ ... 132
مراجعةُ الفصلِ ... 139

الفصل 8

الأحماضُ النوويّةُ وبناءُ البروتيناتِ 142

8-1 اكتشافُ DNA 143
8-2 تركيبُ DNA 146
8-3 تضاعفُ DNA 150
8-4 بناءُ البروتينِ 154
مراجعةُ الفصلِ 161

الفصل 9

أنماطُ التوارثِ وعلمُ الوراثةِ عند الإنسانِ 164

9-1 الكروموسوماتُ والتوارثُ 165
9-2 علمُ الوراثةِ عند الإنسانِ 171
مراجعةُ الفصلِ 179

الفصل 10

تقنيَّةُ الجيناتِ 182

10-1 تقنيّةُ DNA 183
10-2 مشروعُ الجينومِ البشريِّ 189
10-3 الهندسةُ الوراثيَّة 194
مراجعةُ الفصلِ 199

المفرداتُ 202

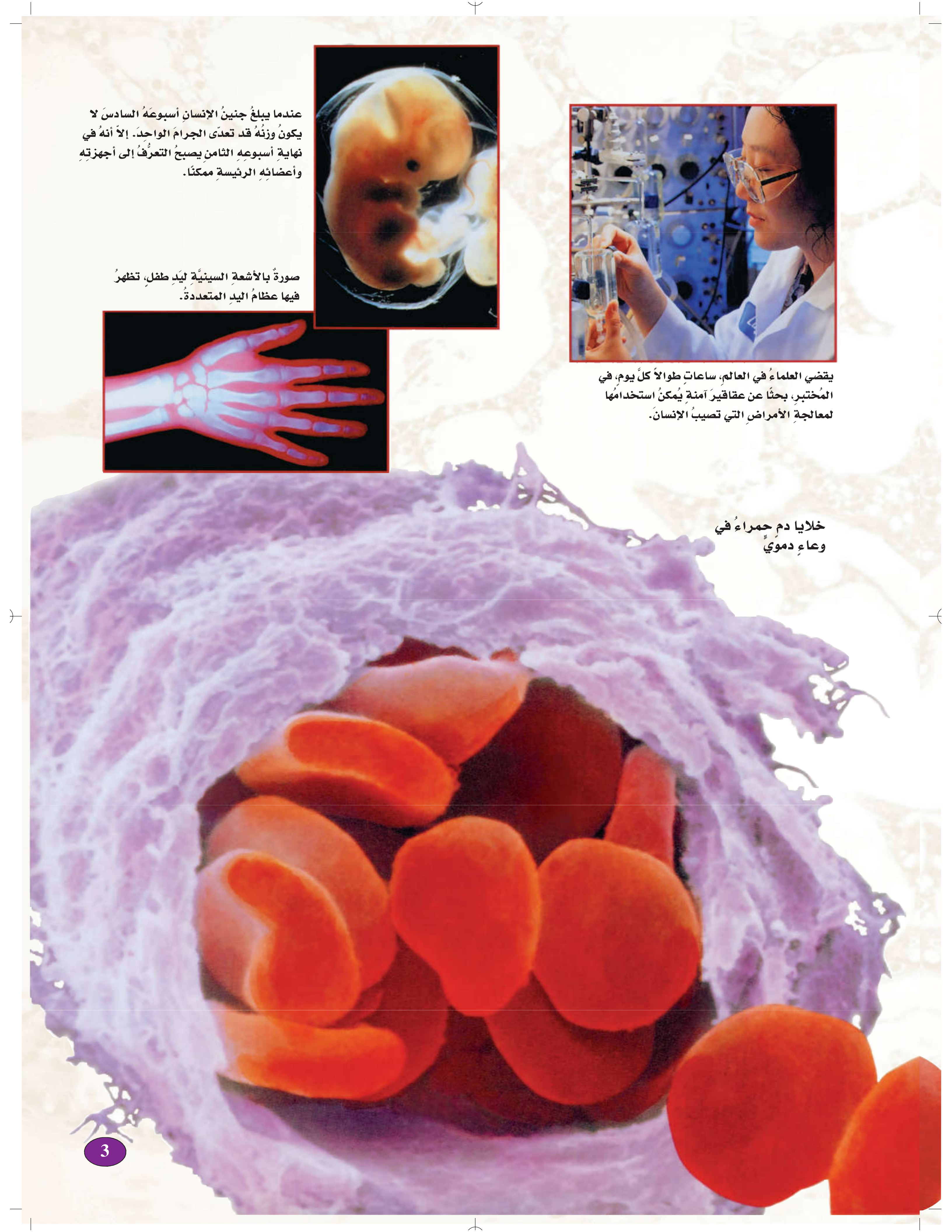
الوَحْدة 1

أجهزةُ جسمِ الإنسانِ

الفصول

1 الجهازُ الهيكليُّ والجهازُ العضليُّ
2 الجهازُ الدوريُّ والجهازُ التنفُّسيُّ
3 أجهزةُ الجسمِ الدفاعيَّةُ
4 الجهازُ العصبيُّ وأعضاءُ الحسِّ
5 جهازُ الغددِ الصمّاءِ
6 الجهازُ التناسليّ

التَّنسيقُ بين أجهزةِ الجسمِ يُمكِّنُ الإنسانَ من اللَّعبِ بكرةِ القدمِ، ومن القيامِ بالأنشطةِ اليوميَّةِ.



عندما يبلغُ جنينُ الإنسانِ أسبوعَهُ السادسَ لا يكونُ وزنُهُ قد تعدّى الجرامَ الواحدَ. إلاّ أنهُ في نهايةِ أسبوعِهِ الثامنِ يصبحُ التعرُّفُ إلى أجهزتِهِ وأعضائِهِ الرئيسةِ ممكنًا.

صورةٌ بالأشعةِ السينيَّةِ ليَدِ طفلٍ، تظهرُ فيها عظامُ اليدِ المتعددةُ.

يقضي العلماءُ في العالمِ، ساعاتٍ طوالاً كلَّ يومٍ، في المُختبرِ، بحثًا عن عقاقيرَ آمنةٍ يُمكنُ استخدامُها لمعالجةِ الأمراضِ التي تصيبُ الإنسانَ.

خلايا دمٍ حمراءُ في وعاءٍ دمويٍّ

الفصل 1

الجهازُ الهيكليُّ والجهازُ العضليُّ



هذهِ الصورةُ الملوَّنةُ الملتقطةُ بالأشعَّةِ السينيَّةِ تبيِّنُ جمجمةَ إنسانٍ وفكَّهُ وأسنانَهُ وعُنقَهُ.

1-1 تنظيمُ جسمِ الإنسانِ

2-1 الجهازُ الهيكليُّ

3-1 الجهازُ العضليُّ

المفهومُ الرئيسُ: التركيبُ والوظيفةُ

وأنتَ تقرأُ حولَ العظامِ والعضلاتِ، لاحظْ كيفَ تتلاءمُ تراكيبُها مع وظائفِها.

القســـم

1-1

النواتج التعليمية

▲ يصفُ الأنواعَ الأربعةَ من الأنسجةِ التي يتكوَّنُ منها جسمُ الإنسانِ من حيثُ التركيبُ والوظيفةُ.

● يوضحُ كيفيَّةَ تنظيمِ الأنسجةِ والأعضاءِ والأجهزةِ.

■ يلخِّصُ الوظائفَ الأوَّليةَ لأجهزةِ جسمِ الإنسانِ.

◆ يتعرَّفُ التجاويفَ الخمسةَ لجسمِ الإنسانِ والأعضاءَ التي يحتوي عليها كلُّ تجويفٍ.

تنظيمُ جسمِ الإنسانِ

يبدأُ جسمُ الإنسانِ في اتِّخاذِ شكلِهِ منذُ المراحلِ الأولى لتكوُّنِ الجنينِ ونموِّهِ. فالجنينُ وهوَ ما يزالُ على شكلِ كرةٍ صغيرةٍ جدًّا منَ الخلايا التي تنقسمُ، تبدأُ أعضاءُ جسمِهِ وأنسجتُهُ في التكوُّنِ. وفي نهايةِ الأسبوعِ الثالثِ، يكونُ جسمُ جنينِ الإنسانِ متناظرَ الجانبينِ *Bilateral symmetry*. ويبدأُ ظهورُ صفاتٍ فقاريّةٍ تدعمُ وضعيةَ الجسمِ العموديَّةَ المستقيمةَ.

أنسجةُ الجسمِ

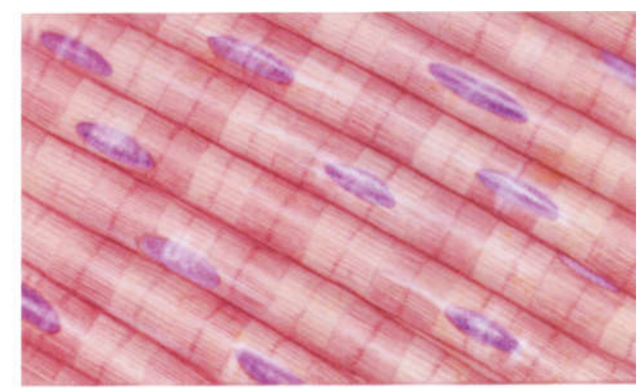
النسيجُ مجموعةٌ من الخلايا تتشابهُ في تركيبِها وتعملُ معًا لأداءِ وظيفةٍ معيَّنةٍ. يحتوي جسمُ الإنسانِ على أربعةِ أنواعٍ رئيسةٍ من الأنسجةِ: هي العضليُّ، والعصبيُّ، والطلائيُّ، والضّامُّ.

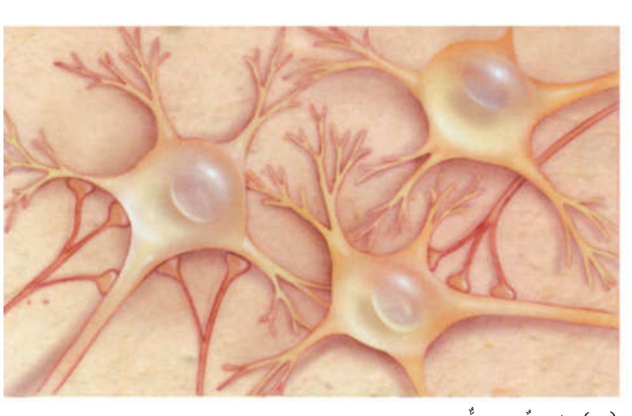
النسيجُ العضليُّ

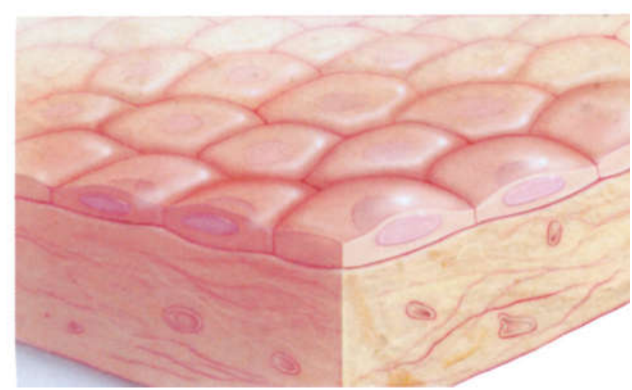
يتكونُ **النسيجُ العضليُّ Muscle tissue** من خلايا قادرةٍ على الانقباضِ. وكلُّ وظيفةٍ يؤدّيها النسيجُ العضليُّ، من تعبيرِ الوجهِ إلى تركيزِ العينينِ للنظرِ، تتمُّ عن طريقِ مجموعةٍ منَ الخلايا العضليَّةِ التي تنقبضُ بنمطٍ مُتناسقٍ. يوجدُ في جسمِ الإنسانِ ثلاثةُ أنواعٍ منَ النسيجِ العضليِّ، هي: الهيكليُّ، والأملسُ، والقلبيُّ. **العضلاتُ الهيكليَّةُ Skeletal muscles** تُحرِّكُ العظامَ في جذعِكَ وأطرافِكَ ووجهِكَ. **والعضلاتُ الملساءُ Smooth muscles** تؤدّي وظائفَ الجسمِ التي لا يمكنُكَ التحكُّمُ فيها بإرادتِكَ، ومنها مثلاً وظيفةُ نقلِ الطعامِ عبرَ جهازِكَ الهضميِّ. أمّا **العضلةُ القلبيَّةُ Cardiac muscle** فيتكوَّنُ منها القلبُ الذي يضخُّ الدمَ إلى أجزاءِ جسمِكَ. يبيِّنُ الشكلُ 1-1 أ، في الصفحةِ التاليةِ، رسمًا تخطيطيًّا لخلايا النسيجِ العضليِّ الهيكليِّ.

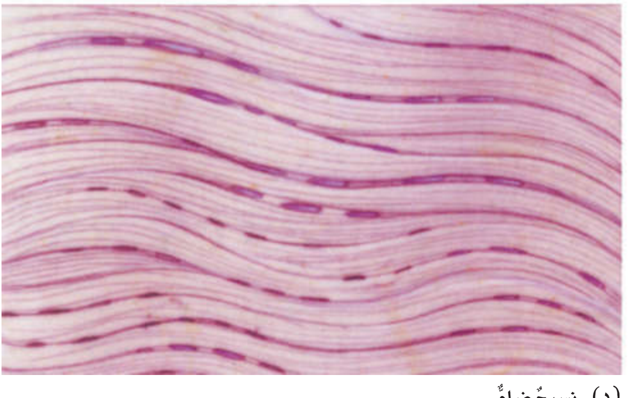
النسيجُ العصبيُّ

يحتوي **النسيجُ العصبيُّ Nervous tissue** على خلايا تستقبلُ مؤثِّراتٍ وتنقُلها على شكلِ سيّالاتٍ عصبيَّةٍ، هذه الخلايا تُسمّى **الخلايا العصبيةَ Neurons**. وهي متخصِّصةٌ في استقبالِ المؤثِّراتِ ونقلِها عبرَ جميعِ أنحاءِ الجسمِ. ويكوِّنُ النسيجُ العصبيُّ الدماغَ والحبلَ الشوكيَّ والأعصابَ. وهو يوجدُ في أجزاءٍ من أعضاءِ الحسِّ، كشبكيَّةِ العينِ. يتأثَّرُ بعضٌ من النسيجِ العصبيِّ بالتغيُّراتِ التي تحدثُ في الوسطِ الداخليِّ للجسمِ وفي وسطِهِ الخارجيِّ، ويفسِّرُ بعضُهُ معنى المعلوماتِ الحسيَّةِ، وبعضُهُ الآخرُ يحرِّكُ الجسمَ استجابةً لها. والنسيجُ العصبيُّ ينظِّمُ الأنشطةَ الإراديَّةَ والأنشطةَ اللاإراديَّةَ، وينظِّمُ بعضَ عمليّاتِ الجسمِ أيضًا. الشكلُ 1-1ب، في الصفحةِ التاليةِ، يبيِّنُ رسمًا تخطيطيًّا لخلايا النسيجِ العصبيِّ.


(أ) نسيجٌ عضليٌّ


(ب) نسيجٌ عصبيٌّ


(ج) نسيجٌ طلائيٌّ (طبقةُ الخلايا العليا)


(د) نسيجٌ ضامٌّ

الشكل 1-1
تبيّنُ هذه الرسومُ الأربعةُ خلايا تمثّلُ الأنواعَ الأربعةَ الرئيسةَ لأنسجةِ جسمِ الإنسانِ: (أ) النسيجَ العضليَّ، (ب) النسيجَ العصبيَّ، (ج) النسيجَ الطلائيَّ، (د) النسيجَ الضامَّ.

النسيجُ الطلائيُّ

يتكوَّنُ **النسيجُ الطلائيُّ Epithelial tissue** من طبقاتٍ من الخلايا تغلِّفُ جميعَ أسطحِ الجسمِ، الداخليَّةِ والخارجيَّةِ. وتتكوَّنُ كلُّ طبقةٍ طلائيَّةٍ من خلايا متلاصقةٍ بإحكامٍ بعضُها ببعضٍ، فتوفِّرُ بتلاصقِها، في الغالبِ، حاجزًا يقي تلكَ الأسطحَ. يتنوَّعُ سمكُ النسيجِ الطلائيِّ ويختلفُ ترتيبُهُ بحسبِ موقعِهِ. فمثلاً، النسيجُ الطلائيُّ الذي يغلِّفُ الأوعيةَ الدمويَّةَ يتكوَّنُ من طبقةٍ واحدةٍ فقط من الخلايا المسطحةِ التي يمكنُ أن تجتازَها الموادُّ بسهولةٍ. غيرَ أن النسيجَ الطلائيَّ الذي يغلِّفُ القصبةَ الهوائيَّةَ، يتكوَّنُ من طبقةِ خلايا ذاتِ أهدابٍ، ومنْ خلايا تفرزُ مادةً مخاطيَّةً. وهذهِ وتلكَ تعملانِ معًا لالتقاطِ الدقائقِ المستنشقةِ واحتجازِها. والنسيجُ الطَّلائيُّ الأسهلُ على الملاحظةِ هو نسيجُ الطبقةِ الخارجيَّةِ للجلدِ التي تتألفُ من صفائحَ من الخلايا المسطَّحةِ والميتةِ التي تغطي وتحمي طبقةَ الجلدِ الحيَّةَ التي تحتَها. يبيِّنُ الشكلُ 1-1 ج رسمًا تخطيطيًّا لخلايا النسيجِ الطلائيِّ.

النسيجُ الضّامُّ

يربطُ **النسيجُ الضامُّ Connective tissue** (نسيج رابط)، بينَ تراكيبِ الجسمِ ويدعمُها ويحميها. والأنسجةُ الضامّةُ هي أكثرُ أنواعِ الأنسجةِ وفرةً وتنوُّعًا. وهي تشتملُ على العظمِ والغضروفِ والأوتارِ والنسيجِ الدهنيِّ والدَّمِ. وتتصفُ هذه الأنسجةُ بخلايا مغمورةٍ بكمِّيّاتٍ كبيرةٍ من مادةٍ بين خلويَّةٍ تسمّى **المادَّةَ الخلاليةَ Matrix**. يمكنُ أن تكونَ المادةُ الخلاليَّةُ صلبةً، أو شبهَ صلبةٍ، أو سائلةً. وخلايا العظامِ محاطةٌ بمادةٍ خلاليَّةٍ

بلّوريَّةٍ قاسيةٍ تحتوي على الكالسيوم. أمّا الخلايا التي في الغضروفِ والأوتارِ والدهن، فهي محاطةٌ بمادَّةٍ خلاليَّةٍ ليفيَّةٍ شبهِ صلبةٍ، بينما تسبحُ خلايا الدمِ في مادَّةٍ خلاليَّةٍ سائلةٍ. يبيِّنُ الشكل 1-1د رسمًا تخطيطيًّا لخلايا نسيجٍ ضامٍّ.

الأعضاءُ والأجهزةُ

يتألَّفُ **العضوُ Organ** من أنسجةٍ متنوِّعةٍ تعملُ معًا لأداءِ وظيفةٍ معيَّنةٍ. فالمعدةُ، وهي عضوٌ على شكلِ كيسٍ، تتكوَّنُ من أنواعِ الأنسجةِ الأربعةِ، ويتمُّ فيها مزجُ الطعامِ بالأنزيماتِ الهضميَّةِ. والعضوُ الواحدُ، كالمعدةِ مثلاً، لا يعملُ عادةً منفردًا. بل تتكاملُ وظائفُ مجموعاتٍ من الأعضاءِ ويتكوَّنُ من كلِّ مجموعةٍ جهازٌ. ففي الجهازِ الهضميِّ، مثلاً، تعملُ المعدةُ والأمعاءُ الدقيقةُ والكبدُ والبنكرياسُ جميعُها على تحطيمِ الطعامِ إلى جزيئاتٍ يستطيعُ الجسمُ استخدامَها لإنتاجِ الطاقةِ. في الجدولِ 1-1 أسماءُ أجهزةِ الجسمِ، وأسماءُ تراكيبِها الرئيسةِ، وأسماءُ وظائفِها. عند دراستِك لهذا الجدولِ، فكِّرْ كيفَ تتآزرُ الأجهزةُ المختلفةُ لتؤدِّيَ وظائفَها بكفاءةٍ وبشكلٍ متكاملٍ.

الجدولُ 1-1 ملخّصٌ لأجهزةِ الجسمِ ووظائفِها (للاطلاع)

الجهازُ	التراكيبُ الرئيسةُ	الوظائفُ
الهيكليُّ	العظامُ	يعطي الجسمَ شكلَهُ؛ يدعمُ الأعضاءَ الداخليَّةَ ويحميها
العضليُّ	العضلاتُ (الهيكليَّةُ، القلبيَّةُ، الملساءُ)	يعطي الجسمَ شكلَهُ؛ يدعمُ الجذعَ والأطرافَ ويحرِّكُها؛ يحركُ الموادَّ عبرَ الجسمِ
الغطائيُّ	الجلدُ، الشعرُ، الأظافرُ	يقي الجسمَ من مسبِّباتِ الأمراضِ؛ يساهمُ في تنظيمِ حرارةِ الجسمِ
الدوريُّ	القلبُ، الأوعيةُ الدمويَّةُ، الدمُ	ينقلُ الموادَّ الغذائيَّةَ والفضلاتِ والغازاتِ من وإلى أنسجةِ الجسمِ كلِّها
التنفسيُّ	القنواتُ الهوائيَّةُ، الرئتانِ	ينقلُ الهواءَ من الرئتينِ وإليهما، حيثُ يستبدلُ الأكسجينُ بثاني أكسيدِ الكربونِ
المناعة	العقدُ اللمفيَّةُ والأوعيةُ اللمفيَّةُ، خلايا الدمِ البيضاءُ	يقي من الإصاباتِ بالعدوى والأمراضِ
الهضميُّ	الفمُ، البلعومُ، المعدةُ، الكبدُ، البنكرياسُ، الأمعاءُ الدقيقةُ، الأمعاءُ الغليظةُ	يخزِّنُ الطعامَ ويهضِمُهُ؛ يمتصُّ الموادَّ الغذائيَّةَ؛ يطرحُ الفضلاتِ
الإخراجُ	الكليتانِ، الحالبانِ، المثانةُ، الإحليلُ، الجلدُ، الرئتانِ	يطرحُ الفضلاتِ؛ يحفظُ توازنَ الماءِ والموادِّ الكيميائيَّةِ
العصبيُّ	الدماغُ، الحبلُ الشوكيُّ، الأعصابُ، أعضاءُ الحسِّ (الحواسُّ الخمسُ)، المستقبلاتُ	يتحكَّمُ في حركاتِ الجسمِ والحواسِّ وينسِّقُ بينها؛ يتحكَّمُ في الوعيِ والابتكارِ؛ يساعدُ على مراقبةِ أجهزةِ الجسمِ وتآزُرِها
الغددُ الصمّاءُ	الغددُ (الكظريَّةُ، الدرقيَّةُ، النخاميَّةُ، والبنكرياسُ، وغيرُها)، تحتَ المهادِ والخلايا المتخصِّصةُ في القلبِ، والمعدةِ، وفي أعضاءٍ أخرى	يحافظُ على الاتِّزانِ الداخليِّ؛ ينظِّمُ الأيضَ وتوازنَ الماءِ والأملاحِ، ينظِّمُ النموَّ والسلوكَ والتطوُّرَ والتكاثرَ
التناسليُّ	المبيضانِ، الرحمُ، الغددُ اللبنيَّةُ (عند الإناثِ)، الخصيتانِ (عند الذكورِ)	ينتجُ البويضاتِ والحليبَ عندَ الإناثِ بعدَ البلوغِ، ينتجُ الحيواناتِ المنويَّةَ عندَ الذكورِ، كما ينتجُ الأجنَّةَ بعدَ عمليَّةِ الإخصابِ

تكاملُ الأجهزةِ

يشكلُ تكاملُ الأجهزةِ مستوًى أعلى من التنظيمِ. والجهازُ يتألّفُ من أعضاءٍ يجمعُ بينَها تكاملُ وظائفِها الأوليَّةِ. وبعضُ الأعضاءِ التي تقومُ بوظائفَ أساسيَّةٍ في الجسمِ يمكنُ أن تتبعَ أكثرَ من جهازٍ. فمثلاً، كلُّ العُصاراتِ التي يفرزُها البنكرياسُ، تقريبًا، تساهمُ في عمليَّةِ الهضمِ. لكن البنكرياسَ ينتجُ هرموناتٍ حيويَّةً مهمَّةً، لذلك فهو يعدُّ أيضًا من مكوِّناتِ جهازِ الغددِ الصمّاءِ. يؤدّي كلُّ جهازٍ وظيفتَهُ المحدَّدةَ الخاصّةَ به، ولكن لكي يبقى الكائنُ الحيُّ على قيدِ الحياةِ، يجبُ أن تعملَ الأجهزةُ معًا. مثلاً، يتمُّ توزيعُ الموادِّ الغذائيَّةِ الناتجةِ عن الجهازِ الهضميِّ بواسطةِ الجهازِ الدوريِّ، وتعتمدُ كفاءةُ الجهازِ الدوريِّ على الموادِّ الغذائيةِ الواردةِ من الجهازِ الهضميِّ وعلى الأكسجينِ الواردِ من الجهازِ التنفسيِّ.

تجاويفُ الجسمِ

يوجدُ كثيرٌ من أعضاءِ جسمِ الإنسانِ وأجهزتِهِ داخلَ تجاويفِ الجسمِ. هذه التجاويفُ تحمي الأعضاءَ الداخليَّةَ من الأضرارِ، وتسمحُ لأعضاءٍ، كالرئتينِ، بأن تتمدّدَ وتتقلصَ بينما تبقى هي مدعَّمةً بأمانٍ. يبيِّنُ الشكلُ 1-2 أن لجسمِ الإنسانِ خمسةَ تجاويفَ رئيسةٍ، يحتوي كلُّ تجويفٍ منها على عضوٍ واحدٍ أو أكثرَ. يحتوي **تجويفُ الجمجمةِ Cranial cavity** على الدماغِ. ويحتوي **التجويفُ الشوكيُّ Spinal cavity** على الحبلِ الشوكيِّ.

والتجويفانِ الرئيسانِ لجذعِ جسمِ الإنسانِ يفصلُ بينهُما جدارٌ عضليٌّ يسمّى **الحجابَ الحاجزَ Diaphragm**. يحتوي التجويفُ العلويُّ، أي **التجويفُ الصدريُّ Thoracic cavity**، على القلبِ والمريءِ وأعضاءِ الجهازِ التنفّسيِّ، ويحتوي التجويفُ السفليُّ، أي **التجويفُ البطنيُّ Abdominal cavity** على بعضِ أعضاءِ الجهازِ الهضميِّ. أما **التجويفُ الحوضيُّ Pelvic cavity** فيحتوي على أعضاءِ الجهازِ التناسليِّ وجهازِ الإخراجِ.

الشكل 1-2
لجسمِ الإنسانِ خمسةُ تجاويفَ رئيسةٍ تحتوي على أعضاءٍ داخليّةٍ حسّاسةٍ، وتحميها.

مراجعةُ القسمِ 1-1

1. سمِّ أنواعَ الأنسجةِ الأربعةِ في جسمِ الإنسانِ، واذكرْ مثلاً على كلٍّ منها.
2. ما الفرقُ بينَ النسيجِ العضليِّ والنسيجِ العصبيِّ؟
3. كيفَ تتنظَّمُ الأنسجةُ والأعضاءُ والأجهزةُ في الجسمِ؟
4. كيفَ تعملُ متآزرةً أجهزةُ جسمِ الإنسانِ؟
5. اذكرْ مثلاً على التفاعلِ بينَ جهازِ الغددِ الصمّاءِ وجهازٍ آخرَ.
6. حدِّدِ الأعضاءَ التي يحتوي عليها كلُّ تجويفٍ في الجسمِ.

تفكيرٌ ناقدٌ

7. صِفْ كيفَ تعملُ الأجهزةُ الهيكليَّةُ والعضليَّةُ والعصبيَّةُ والتنفسيَّةُ والدوريَّةُ في جسمِ شخصٍ يسبحُ في الماءِ.
8. في الجسمِ، تحيطُ العظامُ بالتجويفِ الذي يحتوي على الدماغِ. لمَ، في رأيِكَ، لا تحيطُ العظامُ بالتجويفِ البطنيِّ؟

القســم

2-1

النواتج التعليمية

▲ يميِّزُ بين الهيكلِ المحوريِّ والهيكلِ الطرفيِّ.

● يوضحُ وظيفةَ العظامِ وتركيبَها.

■ يوضحُ كيفَ تتكوَّنُ العظامُ، وكيفَ تنمو طوليًّا.

◆ يذكرُ ثلاثةَ أنواعٍ من المفاصلِ مع مثلٍ على كلٍّ منها.

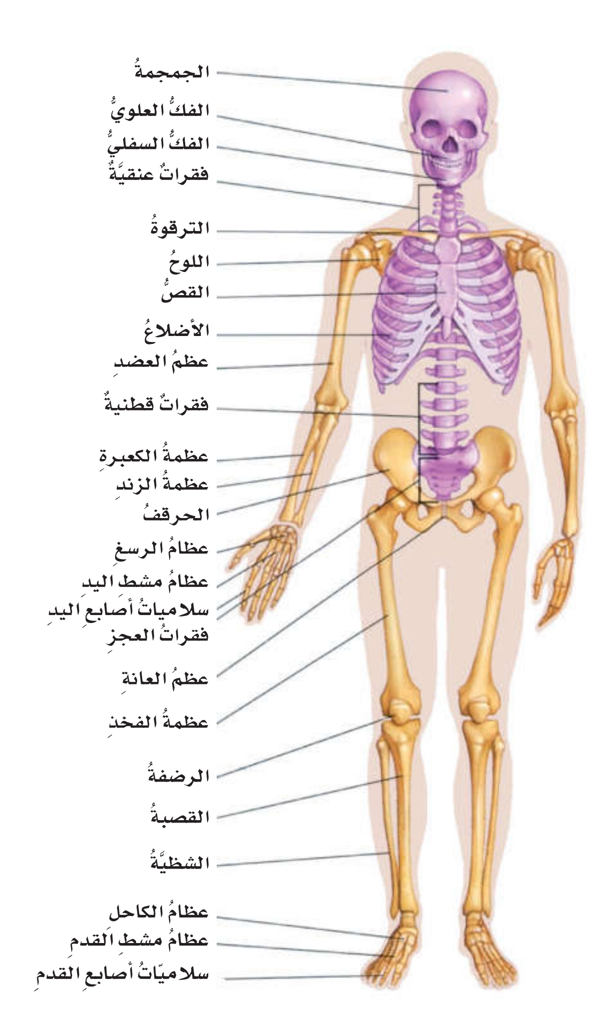
▲ يصفُ اختلالاتٍ شائعةً تصيبُ الهيكلَ العظميَّ.

الجهازُ الهيكليُّ

يتكوَّنُ الجهازُ الهيكليُّ لجسمِ الإنسانِ البالغِ من حوالَيْ 206 عظامٍ، منسّقةٍ في هيكلٍ داخليٍّ يسمّى **الهيكلَ العظميَّ Skeleton**. أما اختلافُ العظامِ التي يتكوَّنُ منها الهيكلُ العظميُّ، من حيثُ الحجمُ والشكلُ، فإنهُ يعكسُ اختلافَ وظائفِها في الجسمِ.

الهيكلُ العظميُّ

يتألفُ الهيكلُ العظميُّ لجسمِ الإنسانِ، الشكل 1-3، من قسمين هما: الهيكلُ العظميُّ المحوريُّ، والهيكلُ العظميُّ الطرفيُّ. فعظامُ الجمجمةِ والعمودِ الفقاريِّ والقصِّ والأضلاعِ تشكِّلُ **الهيكلَ العظميَّ المحوريَّ Axial skeleton**. أما عظامُ الأذرعِ والأرجلِ، إضافةً إلى عظامِ الكتفِ والترقوةِ والحوضِ، فتشكِّلُ **الهيكلَ العظميَّ الطرفيَّ Appendicular skeleton**.



الشكل 1-3
الهيكلُ العظميُّ هو الإطارُ الأساسيُّ الذي يرتكزُ عليهِ الجسمُ والذي يحميهِ. إن عظامَ الهيكلِ العظميِّ المحوريِّ تظهرُ باللونِ الأرجوانيِّ. أمّا عظامُ الهيكلِ العظميِّ الطرفيِّ فتظهرُ باللونِ الأصفرِ.

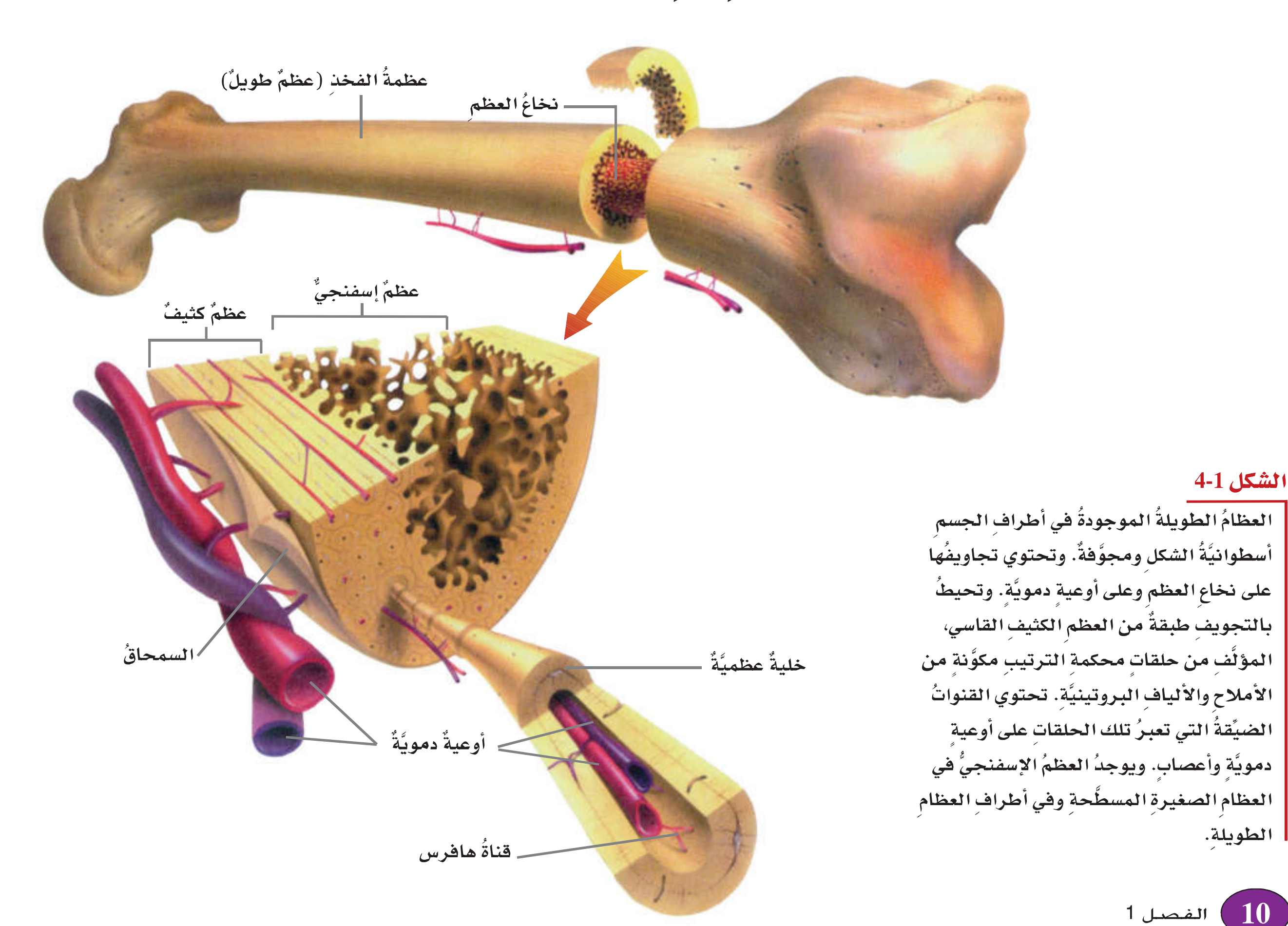
وظيفةُ العظامِ وتركيبُها

تعملُ العظامُ التي يتكوَّنُ منها الهيكلُ العظميُّ بطرقٍ متنوِّعةٍ. فهي توفِّرُ قواعدَ صلبةً ترتكزُ عليها العضلاتُ التي تقومُ بسحبِ العظامِ، كما تدعمُ الجسمَ وتعطيهِ شكلَهُ المميزَ، وتحمي الأعضاءَ الداخليَّةَ الحسّاسةَ. فالأضلاعُ مثلاً تكوِّنُ قفصًا يحتوي على القلبِ وعلى الرئتينِ. وعظامُ الجمجمةِ تحمي الدماغَ. وتخزِّنُ العظامُ أملاحًا، كالكالسيومِ والفوسفورِ، ذاتَ أدوارٍ حيويَّةٍ في عملياتِ الأيضِ المهمَّةِ. إضافةً إلى ذلكَ، تُنتجُ الأجزاءُ الداخليَّةُ للعظامِ خلايا الدمِ الحمراءَ وخلايا الدمِ البيضاءَ وصفائحَ الدمِ.

إن العظامَ، بالرُّغمِ من كثرةِ عددِها وكبرِ حجمِها، تشكِّلُ أقلَّ من 20% من وزنِ الجسمِ، وهي أنسجةٌ حيَّةٌ ورطبةٌ.

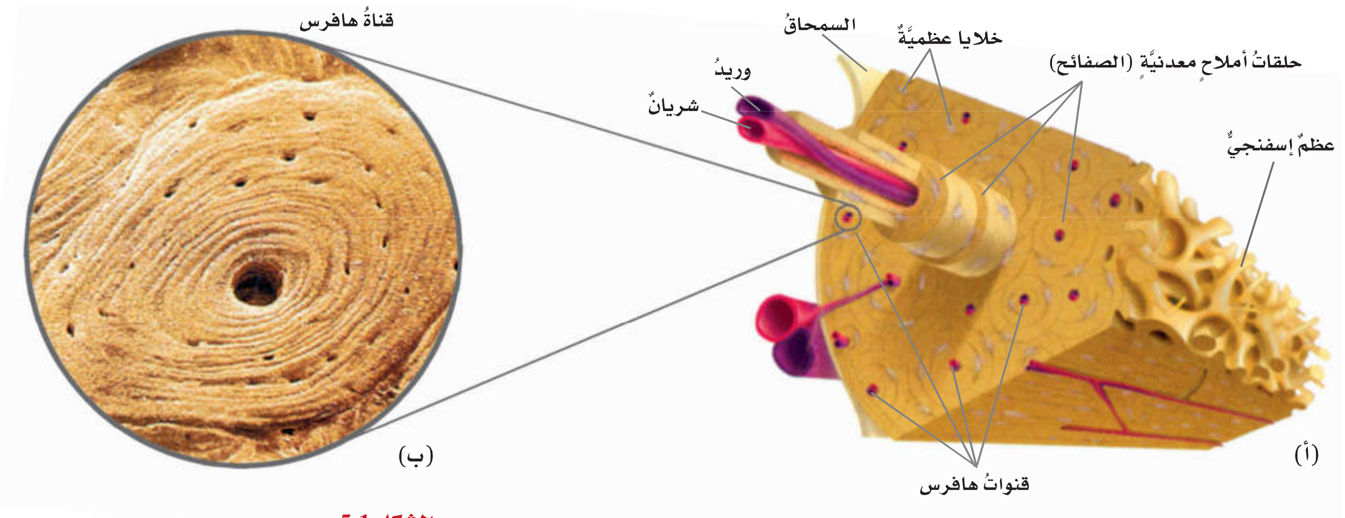
تركيبُ العظمِ الطويلِ

كما في الشكلِ 1-4، يتألَّفُ العظمُ الطويلُ من تجويفٍ مركزيٍّ مثقَّبٍ تحيطُ بهِ حلقةٌ من الموادِّ الكثيفةِ. ويغطّي سطحَ العظمِ غشاءٌ متينٌ يسمّى **السمحاقَ Periosteum**. يحتوي هذا الغشاءُ على شبكةٍ من الأوعيةِ الدمويَّةِ التي تزوِّدُهُ بالموادِّ الغذائيَّةِ، وعلى أعصابٍ تُرسلُ سيّالاتِ الألمِ. توجدُ تحتَ السمحاقِ مادَّةٌ صلبةٌ تسمّى **العظمَ الكثيفَ Compact bone**. تمكِّنُ الطبقةُ السميكةُ من العظمِ الكثيفِ محورَ العظمِ الطويلِ من تحمُّلِ مقدارٍ كبيرٍ من الإجهادِ الذي يتلقّاهُ خلالَ القيامِ بتمارينَ رياضيَّةٍ كالقفزِ.



الشكل 1-4

العظامُ الطويلةُ الموجودةُ في أطرافِ الجسمِ أسطوانيَّةُ الشكلِ ومجوَّفةٌ. وتحتوي تجاويفُها على نخاعِ العظمِ وعلى أوعيةٍ دمويَّةٍ. وتحيطُ بالتجويفِ طبقةٌ من العظمِ الكثيفِ القاسي، المؤلَّفِ من حلقاتٍ محكمةِ الترتيبِ مكوَّنةٍ من الأملاحِ والألياف البروتينيَّة. تحتوي القنواتُ الضيِّقةُ التي تعبرُ تلك الحلقاتِ على أوعيةٍ دمويَّةٍ وأعصابٍ. ويوجدُ العظمُ الإسفنجيُّ في العظامِ الصغيرةِ المسطَّحةِ وفي أطرافِ العظامِ الطويلةِ.



الشكل 5-1

يبيِّنُ المقطعُ العرضيُّ (أ) التركيبَ الداخليَّ لعظمٍ كثيف. الصورةُ المجهريَّةُ (ب) لقناةِ هافرسَ (380 ×) تُظهرُها محاطةً بصفائحَ من العظمِ الكثيف.

لاحظْ في المقطعِ العرضيِّ المبيَّنِ في الشكل 5-1 أ، أن العظمَ الكثيفَ يتكوَّنُ من أسطواناتٍ، وأن الأسطواناتِ بدورِها تتكوَّنُ من بلَّوراتِ الأملاحِ والأليافِ البروتينيَّةِ، وهي تُسمّى *الصفائحَ Lamellae*. يوجدُ في وسطِ كلِّ أسطوانةٍ قناةٌ ضيِّقةٌ تسمّى **قناةَ هافرس Haversian canal** الشكل 5-1 ب. تمتدُّ الأوعيةُ الدمويَّةُ عبرَ قنواتِ هافرس المتداخلةِ مكوِّنةً شبكةً تنقلُ الغذاءَ إلى النسيجِ العظميِّ الحيِّ. وتلتفُّ حولَ كلٍّ من قنواتِ هافرس عِدَّةُ طبقاتٍ من أليافٍ بروتينيَّةٍ تحتوي على فجواتٍ تتضمَّنُ **الخلايا العظميَّةَ Osteocytes**.

يوجدُ أسفلَ العظمِ الكثيفِ شبكةٌ من النسيجِ الضامِّ، تسمّى **العظمَ الاسفنجيَّ Spongy bone**. يتكوَّنُ العظمُ الاسفنجيُّ من فجواتٍ واسعةٍ، يتخلَّلُها عددٌ من الصّفائحِ العظميَّةِ المرتَّبةِ ترتيبًا موازيًا لخطوطِ قوّةِ الضغطِ ليعملَ على تحمُّلِ الضغوطِ الكبيرةِ والتقليلِ من وزنِ العظمِ، كما في الشكل 4-1.

نخاعُ العظمِ

يحتوي الكثيرُ من العظامِ على نسيجٍ ليِّنٍ أحمرَ أو أصفرَ يسمّى **نخاعَ العظم Bone marrow**. نخاعُ العظمِ الأحمرُ (الموجودُ في العظمِ الإسفنجيِّ وداخلَ أطرافِ العظامِ الطويلةِ والأضلاعِ والفقراتِ والقصِّ وعظمِ العانة) يُنتِجُ خلايا الدمِ الحمراءَ وصفائحَ الدمِ وخلايا الدمِ البيضاءَ. أما نخاعُ العظمِ الأصفرُ فيملأُ تجاويفَ العظامِ الطويلةِ، وهو مكوَّنٌ، في معظمِه، من خلايا دهنيَّةٍ، ويعملُ كمخزِّنٍ للطاقةِ الاحتياطيَّةِ. وبإمكانِه أن يتحوَّلَ إلى نخاعِ عظمٍ أحمرَ ينتجُ خلايا الدمِ، عندَ حدوثِ فقدٍ كبيرٍ للدمِ.

الإصابةُ والترميمُ

على الرغمِ من قوّةِ العظامِ، فإنها قد تتشقّقُ بلْ قد تتحطّمُ إذا تعرَّضَتْ لأثقالٍ كبيرةٍ جدًّا، أو لصدماتٍ مفاجئةٍ. يسمّى التشقُّقُ أو التحطّمُ **كسرًا Fracture**. إذا بقيتِ الدورةُ الدمويَّةُ على طبيعتِها وظلَّ السمحاقُ حيًّا، يشفى العظمُ من الكسورِ حتى وإن كانت إصابتُهُ بالغةً.

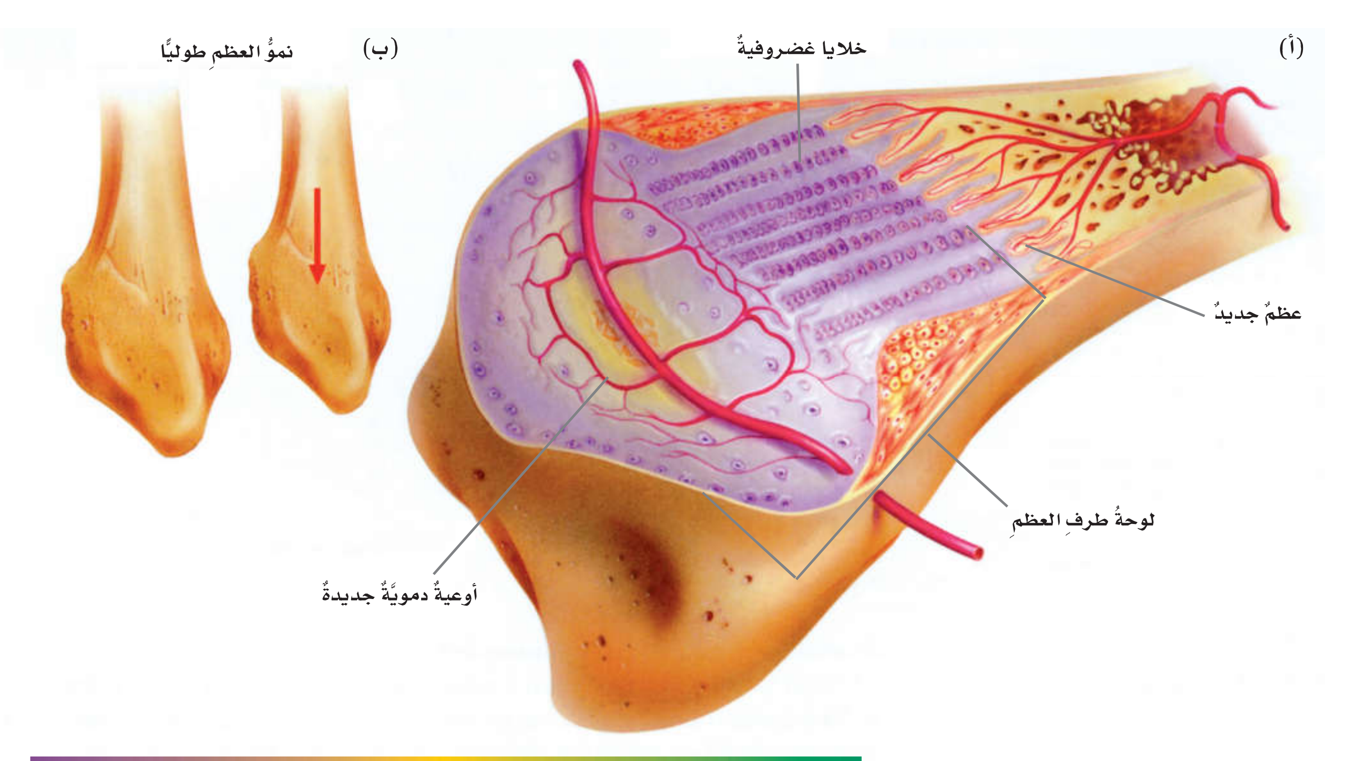
صلةٌ بالبيئةِ

العظامُ الرصاصيَّةُ

تعرَّضَ الملايينُ من الناسِ لمعدنِ الرصاصِ في محيطِهم البيئيِّ. إثرَ تعرُّضِ الجسمِ لهذا المعدن، تفرزُ الكليتان معظمَهُ إلى الخارج. أما النسبةُ المتبقِّيةُ منهُ في الجسمِ والتي تراوحُ بينَ 7% و10% فتخزنُ في العظمِ، وقد تبقى فيهِ مدى الحياةِ.

إن امتصاصَ العظمِ سريعًا لهذا المعدنِ يشكلُ آليَّةً لإزالةِ التسمُّم. إلاّ أن الرصاصَ قد لا يظلُّ محتجزًا في العظامِ بشكلٍ دائمٍ. فمعَ تقدُّمِ الإنسانِ في السنِّ قد يصابُ العظمُ بالتلفِ، فيحرِّرُ الرصاصَ إلى الدمِ. وإن النسبَ المتدنِّيةَ من الرصاصِ في الدمِ، يمكنُ أن تسبِّبَ إصابةَ الكليتينِ وارتفاعَ ضغطِ الدمِ.

وقد اعتُبرتْ إضافةُ الرصاصِ إلى البنزينِ وأنابيبِ نقلِ المياهِ والدهاناتِ مخالفةً للقانونِ في الكثيرِ من البلدانِ. لذلكَ لن يتراكمَ في عظامِ من هُمْ دونَ الخامسةِ والعشرينَ من الرصاصِ ما تراكمَ في عظامِ الأجيالِ التي سبقتهُم.



الشكل 1-6

توجدُ لوحةُ طرفِ العظمِ عندَ أطرافِ العظامِ الطويلةِ غيرِ البالغةِ، كالشظيَّةِ الظاهرةِ في الشكلِ. وهي موقعُ النموِّ الطوليِّ للعظمِ. هذه المنطقةُ غنيَّةٌ بخلايا غضروفيَّةٍ تنقسمُ وتكبرُ، وتدفعُ الخلايا القديمةَ في اتجاهِ وسطِ محورِ العظمِ. وبينما تتراجعُ الخلايا القديمةُ، تُستبدلُ بها خلايا جديدةٌ، فتتكوَّنُ مناطقُ جديدةٌ من العظمِ. ينمو العظمُ الطويلُ (أ) طوليًا وعرضيًا ويزدادُ سماكةً وفقَ هذه الطريقةِ، وطبقًا لما هو مبيَّنٌ في الشكلِ (ب).

تكوُّنُ العظمِ

معظمُ العظامِ تتكوَّنُ بدءًا من غضروفٍ. والغضروفُ نسيجٌ ضامٌّ قويٌّ، لكنهُ ليِّنٌ. ويتكوَّنُ من الغضروفِ معظمُ الجهازِ الهيكليِّ للجنينِ في شهرِهِ الثاني. تبدأُ الخلايا العظميَّةُ في التكوُّنِ خلالَ الشهرِ الثالثِ، وتحرِّرُ أملاحًا تستقرُّ في الفراغاتِ الموجودةِ بينَ الخلايا الغضروفيَّةِ، فيتحوَّلُ الغضروفُ إلى عظمٍ. تسمّى هذه العمليَّةُ **تكوُّنَ العظمِ Ossification**. في نهايةِ هذهِ العمليَّةِ، يُستبدلُ العظمُ بالغضروفِ الجنينيِّ. إلاّ أن بعضَهُ يبقى في المناطقِ الفاصلةِ بينَ العظامِ، وفي طرفِ الأنفِ، وفي الأذنِ الخارجيَّةِ، وعلى طولِ داخلِ القصبةِ الهوائيَّةِ التي يمدُّها الغضروفُ بالمرونةِ.

هناكَ عددٌ قليلٌ من العظامِ، كبعضِ أجزاءِ الجمجمةِ، تتكوَّنُ مباشرةً على صورةِ عظمٍ قاسٍ دونَ المرورِ أوّلاً في مرحلةِ الغضروفِ. وفي مثلِ هذهِ الحالةِ تكونُ الخلايا العظميَّةُ مبعثرةً، بصورةٍ عشوائيَّةٍ، في النسيجِ الضامِّ للجنينِ، غيرَ أنها سرعانَ ما تتَّحدُ على صورةِ طبقاتٍ لتصبحَ صفائحَ مسطَّحةً في العظمِ. وفي الجمجمةِ يمكنُ رؤيةُ خطوطِ الدرزاتِ التي تتلاقى عندَها الصفائحُ العظميَّةُ.

نموُّ العظمِ طوليًا

تواصلُ العظامُ نموَّها بعدَ الولادةِ. ويحلُّ العظمُ تدريجيًّا محلَّ الغضروفِ الموجودِ في العظامِ الطويلةِ للأطرافِ، أي عظامِ الأذرعِ والأرجلِ، ما بينَ أوَّلِ الطفولةِ وآخرِ المراهقةِ. يتمُّ النموُّ الطوليُّ للعظمِ في مناطقِ أطرافِ العظامِ الطويلةِ. وتسمّى منطقةُ النموِّ **لوحةَ طرفِ العظمِ Epiphyseal plate**. وكما يظهرُ في الشكلِ 1-6 أ، تتألَّفُ لوحةُ طرفِ العظمِ من خلايا غضروفيَّةٍ تنقسمُ وتشكِّلُ أعمدةً تدفعُ بالخلايا القديمةِ نحو وسطِ العظمِ. وبعد أن تموتَ الخلايا القديمةُ، تحُلُّ محلَّها خلايا العظمِ الجديدةُ.

يتواصلُ النموُّ، كما يظهرُ في الشكلِ 1-6 ب، إلى أن يحُلَّ العظمُ محلَّ الغضروفِ كلِّهِ. حينها، لا تعودُ العظامُ تنمو طوليًّا. ويكونُ الشخصُ، عادةً، قد بلغَ غايةَ قامتِهِ.

المفاصلُ

المكانُ الذي تلتقي فيهِ عظمتانِ يُسمّى **المَفصلَ Joint**. يوجدُ في جسمِ الإنسانِ ثلاثةُ أنواعٍ رئيسةٍ من المفاصلِ، وهي: الثابتةُ، والمحدودةُ الحركةِ، والمتحرّكةُ. الشكل 1-7 يبيّنُ أمثلةً على تلكَ الأنواعِ من المفاصلِ.

المفاصلُ الثابتةُ

تمنعُ **المفاصلُ الثابتةُ Fixed joints** حدوثَ الحركةِ. وهي موجودةٌ في الجمجمةِ، وتربطُ بإحكامٍ بينَ الصفائحِ العظميَّةِ فتمنعُها من التحرُّكِ.

المفاصلُ المحدودةُ الحركةِ

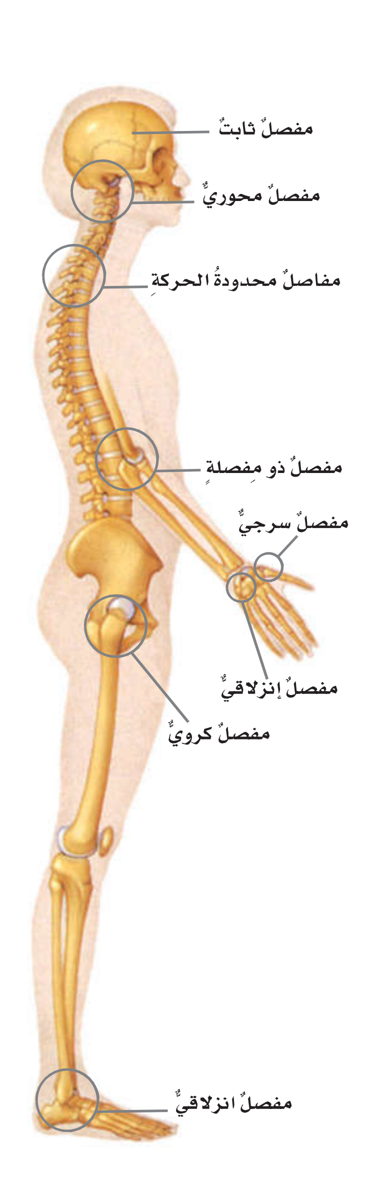
تسمحُ **المفاصلُ المحدودةُ الحركةِ Semimovable joints** بحركةٍ محدودةٍ. فمثلاً تثبِّتُ المفاصلُ المحدودةُ الحركةِ عظامَ العمودِ الفقاريِّ في مكانِها، وتسمحُ للجسمِ بالانحناءِ والالتواءِ. وتفصلُ بينَ فقراتِ العمودِ الفقاريِّ أقراصٌ من النسيجِ الغضروفيِّ. توجدُ المفاصلُ المحدودةُ الحركةِ، كذلك، في أطرافِ أضلاعِ القفصِ الصدريِّ حيثُ تربطُ خيوطٌ غضروفيةٌ طويلةٌ الأزواجَ العشرةَ العليا من الأضلاعِ بالقصِّ.

المفاصلُ المتحرِّكةُ

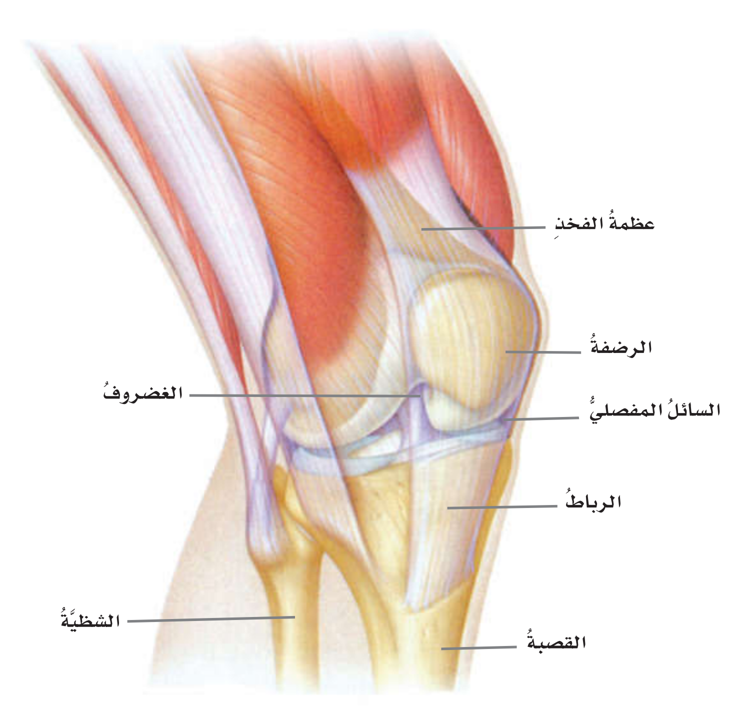
جميعُ مفاصلِ الجسمِ الأخرى هي **مفاصلُ متحرِّكةٌ Movable joints**. هذهِ المفاصلُ تمكِّنُ الجسمَ من تنفيذِ قدرٍ كبيرٍ من الحركاتِ. تشتملُ أنواعُ المفاصلِ المتحركةِ على المفاصلِ التاليةِ: ذاتِ المِفصلةِ، الكرويَّةِ، المحوريَّةِ، السرجيَّةِ، الانزلاقيَّةِ. من الأمثلةِ على المفصلِ ذي المِفصلةِ مفصلُ المرفقِ الذي يسمحُ بحركةِ الساعدِ إلى أعلى وإلى أسفلَ على صورةِ بابٍ ذي مِفصلةٍ. والمثلُ على المفصلِ الكرويِّ مفصلُ الكتفِ الذي يُمكِّنُكَ من تحريكِ الذراعِ إلى أعلى وإلى أسفلَ وإلى الخلفِ، ومن الدورانِ دورةً كاملةً. ويشكِّلُ مثلاً على المفصلِ المحوريِّ المفصلُ المكوَّنُ من الفقرتينِ العلويَّتينِ للعمودِ الفقاريِّ، فهو يسمحُ لكَ بأن تُديرَ رأسَكَ من جهةٍ إلى جهةٍ أخرى، وأن تهزَّ رأسكَ إلى الأعلى للنفيِ وإلى الأسفلِ للتأكيدِ. والمثلُ على المفصلِ السرجيِّ مفصلٌ يوجدُ عند قاعدةِ كلِّ إبهامٍ، ويسمحُ لكَ بأن تديرَ إبهامَكَ، ويساعدُكَ على أن تمسكَ الأشياءَ بيدِكَ. وأخيرًا، المثلُ على المفاصلِ الانزلاقيَّةِ، وهي المفاصلُ الموجودةُ بينَ العظامِ الصغيرةِ في قدميكَ، وهي التي تسمحُ بانزلاقِ العظامِ ، الواحدِ على الآخرِ.

تركيبُ المَفصلِ

غالبًا ما تتعرَّضُ المفاصلُ، كمفصلِ الركبةِ، لمقدارٍ كبيرٍ من الضغطِ والإجهادِ. إلاّ أن



الشكل 1-7
يوجدُ في جسمِ الإنسانِ، بالإضافةِ إلى المفاصلِ الثابتةِ والمفاصلِ المحدودةِ الحركةِ، خمسةُ أنواعٍ من المفاصلِ المتحركةِ، هي: المحوريُّ، وذو المِفصلةِ، والسرجيُّ، والكرويُّ، والانزلاقيُّ.



الشكل 1-8
الركبةُ مفصلٌ متحرّكٌ يتألّفُ من طرفَيْ عظمةِ الفخذِ والقصبةِ ومن الرضفةِ. العديدُ من الأربطةِ التي تشبهُ الحبالَ تثبتُ الركبةَ. وعلى الأخصِّ أثناءَ الحركةِ. وتوجدُ سنادٌ غضروفيةٌ تحمي أطرافَ العظامِ وتساهمُ في امتصاصِ الصدماتِ. وعلى غرارِ الكثيرِ من مفاصلِ الجسمِ، الركبةُ، مفصلٌ ذو سائلٍ مفصليٍّ. وهي تحتوي على أغشيةٍ تفرزُ السائلَ المفصليَّ الذي يساعدُ على انزلاقِ المفصلِ ويغذّي الأنسجةَ في داخلِه.

تركيبَها يتلاءمُ معَ ذلكَ. وكما في جميعِ المفاصلِ المتحرِّكةِ، يغطي الغضروفُ أجزاءَ العظامِ التي يحتكُّ أحدُها بالآخرِ، ويحمي أسطحَ العظامِ من التحاكِّ. كذلكَ تمسكُ بعظامِ المفصلِ أشرطةٌ من النسيجِ الضامِّ المتينِ، تسمّى **الأربطةَ Ligaments**، لتثبِّتَها في أماكنِها. إن أسطحَ المفاصلِ المعرّضةَ لمقدارٍ كبيرٍ من الضغطِ مغلَّفةٌ بنسيجٍ يفرزُ سائلاً هلاميًّا مزلقًا يحمي أطرافَ العظامِ من التحاكِّ، ويسمّى **السائلَ المفصليَّ Synovial fluid**. يبيِّنُ الشكلُ 1-8 التراكيبَ الداخليةَ لمَفصلِ الركبةِ. يمكنُ للأضرارِ التي تلحقُ بالركبةِ أن تسبِّبَ انتفاخَ المنطقةِ التي تحتوي على السائلِ المفصليِّ.

كلُّ اختلالٍ يصيبُ المفاصلَ ويسببُ انتفاخَها ويشعرُها بالألمِ يسمّى التهابَ المفاصلِ. يوجدُ نوعانِ من التهابِ المفاصلِ: **التهابُ المفاصلِ الروماتيديُّ Rheumatoid arthritis** الذي يظهرُ عندما يبدأُ جهازُ المناعةِ في مهاجمةِ أنسجةِ الجسمِ فتلتهبُ المفاصلُ وتنتفخُ وتتصلّبُ وتتشوَّهُ، و**التهابُ المفاصلِ العظميُّ Osteoarthritis** وهو مرضُ المفصلِ الذي يتآكلُ فيهِ الغضروفُ ويصبحُ أرقَّ وأخشنَ. ونتيجةً لذلكَ، تحتكُّ أسطحُ العظامِ وتسبِّبُ انزعاجًا شديدًا.

مراجعةُ القسمِ 1-2

1. ما الأجزاءُ الرئيسةُ للهيكلِ العظميِّ المحوريِّ والهيكلِ العظميِّ الطرفيِّ؟
2. ما الوظائفُ الخمسُ للعظامِ؟
3. صِفْ تركيبَ عظمٍ طويلٍ.
4. متى يبدأُ تكوُّنُ العظمِ في معظمِ عظامِ الجسمِ؟ ومتى ينتهي؟
5. صِفْ وظيفةَ الأنواعِ الرئيسةِ الثلاثةِ للمفاصلِ وأعطِ مثلاً على كلٍّ منها.
6. ميِّزْ بينَ نوعَيِ التهابِ المفاصلِ.

تفكيرٌ ناقدٌ

7. أيُّ نوعٍ منَ التهابِ المفاصلِ لا يرتبطُ بتقدُّمِ السنِّ؟
8. ما العلاقةُ بينَ تركيبِ الغضروفِ وتركيبِ العظمِ؟ وما الوظيفةُ التي يؤدّيها كلٌّ منهما في الجسمِ؟

القســم

3-1

النواتج التعليمية

▲ يميِّزُ بينَ الأنواعِ الثلاثةِ للنسيجِ العضليِّ.

● يصفُ تركيبَ أليافِ العضلاتِ الهيكليَّةِ.

■ يوضحُ كيفَ تنقبضُ العضلاتُ الهيكليَّةُ.

◆ يصفُ كيفَ تُحرِّكُ العضلاتُ العظامَ.

▲ يوضحُ عمليةَ إصابةِ العضلاتِ بالتعبِ.

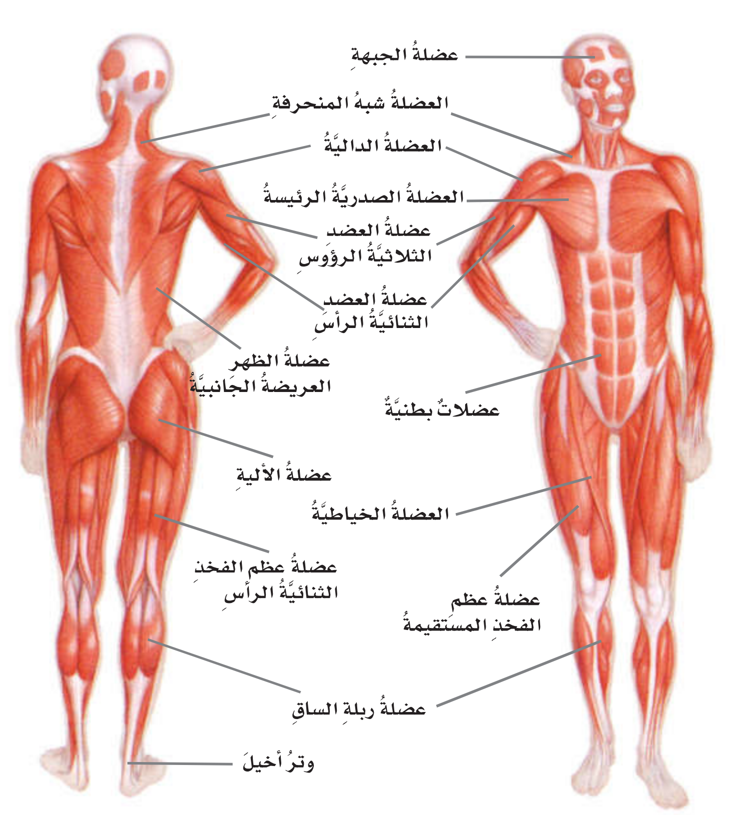
الجهازُ العضليُّ

تحتلُّ العضلاتُ قسمًا كبيرًا من الجسمِ يعادلُ ثلثَ وزنهِ. إن قدرةَ العضلاتِ على الانقباضِ والانبساطِ تمكِّنُ الجسمَ من الحركةِ. كما توفِّرُ لهُ قوةَ دفعٍ لموادَّ كالدّمِ والطعامِ عبرَ أجزائِه.

أنواعُ العضلاتِ

العضلةُ عضوٌ يستطيعُ أن ينقبضَ بطريقةٍ منسَّقةٍ. وهو يتضمّنُ نسيجًا عضليًّا وأوعيةً دمويَّةً وأعصابًا ونسيجًا ضامًّا. بعضُ العضلاتِ الرئيسةِ في جسمِ الإنسانِ مبيَّنةٌ في الشكلِ 1-9. تذكَّرْ أن في جسمِ الإنسانِ ثلاثةَ أنواعٍ من الأنسجةِ العضليَّةِ هي: النسيجُ العضليُّ الهيكليُّ، والنسيجُ العضليُّ الأملسُ، والنسيجُ العضليُّ القلبيُّ.

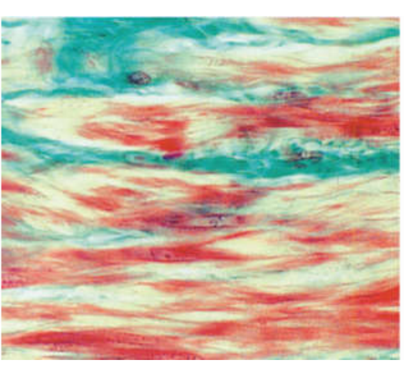
العضلاتُ الهيكليةُ مسؤولةٌ عن تحريكِ أجزاءِ الجسمِ، كالأطرافِ والجذعِ والوجهِ. ويتكوَّنُ النسيجُ العضليُّ الهيكليُّ من خلايا طويلةٍ تُسمّى **الأليافَ العضليَّةَ** **Muscle fibers** . يحتوي كلُّ ليفٍ عضليٍّ على الكثيرِ من الأنويةِ، وتقطعُهُ خيوطٌ داكنةٌ وخيوطٌ فاتحةٌ تُسمّى **الخطوطَ** **Striations**، الشكلُ 1-10 أ. تتجمَّعُ أليافُ العضلاتِ الهيكليَّةِ في مجموعاتٍ كثيفةٍ *تسمّى الحزمَ العضليَّةَ Fascicles*. ويحيطُ نسيجٌ ضامٌّ بمجموعةٍ من الحزمِ العضليَّةِ لتشكِّلَ عضلةً. توصفُ العضلاتُ الهيكليَّةُ بأنها **عضلاتٌ إراديَّةٌ** **Voluntary muscles**، لأنَّهُ يتمُّ التحكُّمُ فيها بإرادةِ الإنسانِ.



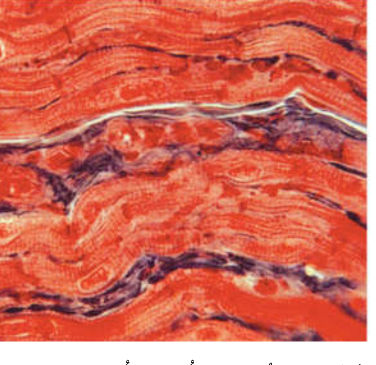
الشكل 1-9
يُظهِرُ هذا الشكلُ بعضَ العضلاتِ الرئيسةِ في جسمِ الإنسانِ.



(أ) النسيجُ العضليُّ الهيكليُّ



(ب) النسيجُ العضليُّ الأملسُ



(ج) النسيجُ العضليُّ القلبيُّ

الشكل 1-10

تُبيِّنُ هذهِ الصورُ الملتقَطةُ بالمجهرِ الضوئيِّ، الأنواعَ الثلاثةَ للنسيجِ العضليِّ. (أ) النسيجُ العضليُّ الهيكليُّ ذو مظهرٍ مخطَّطٍ عندَ النظرِ إليهِ بواسطةِ المجهرِ (430×). (ب) النسيجُ العضليُّ الأملسُ يوجدُ في القناةِ الهضميَّةِ والرحمِ والمثانةِ والأوعيةِ الدمويَّةِ (400×). (ج) النسيجُ العضليُّ القلبيُّ يوجدُ فقط في القلبِ (270×).

تُكوِّنُ العضلاتُ الملساءُ جدرانَ المعدةِ والأمعاءِ والأوعيةِ الدمويَّةِ، وأعضاءٍ داخليَّةٍ أخرى. تتَّصفُ خليةُ العضلةِ الملساءِ بشكلٍ مغزليٍّ، وبنواةٍ واحدةٍ فقط، وهي تتشابكُ لتشكِّلَ صفائحَ، كما هو مبيَّنٌ في الشكلِ 1-10 ب. لاحظْ أن العضلةَ الملساءَ ليستْ مخطَّطةً بخلافِ النسيجِ العضليِّ الهيكليِّ. يحيطُ بالأليافِ العضليَّةِ الملساءِ نسيجٌ ضامٌّ لا يتَّحدُ ليشكِّلَ أوتارًا كما في العضلاتِ الهيكليَّةِ. العضلاتُ الملساءُ **عضلاتٌ لاإراديَّةٌ Involuntary muscles** لأنهُ لا يتمُّ التحكُّمُ فيها بإرادةِ الإنسانِ.

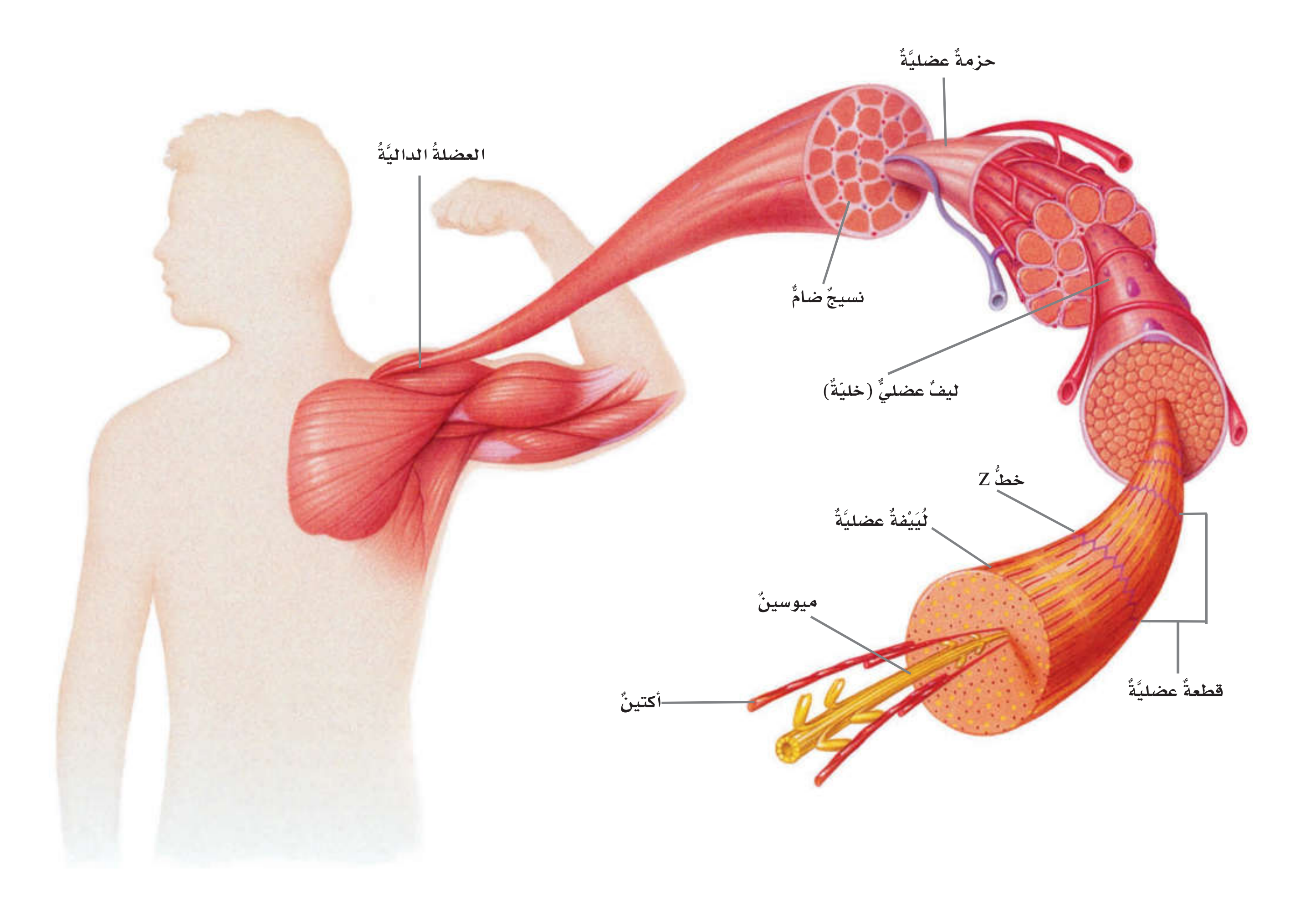
تكوِّنُ العضلةُ القلبيةُ، الظاهرةُ في الشكلِ 1-10 ج، جدارَ القلبِ. وتتصفُ العضلةُ القلبيَّةُ ببعضِ صفاتِ العضلاتِ الهيكليَّةِ والعضلاتِ الملساءِ معًا. فالعضلةُ القلبيَّةُ كالعضلاتِ الهيكليَّةِ مخطَّطةٌ. وهي لاإراديةٌ وخلاياها ذاتُ نواةٍ واحدةٍ كالعضلاتِ الملساءِ.

تركيبُ العضلاتِ الهيكليَّةِ

الليفةُ العضليَّةُ الهيكليَّةُ خليَّةٌ عضليَّةٌ واحدةٌ عديدةُ الأنويةِ. والعضلةُ الهيكليَّةُ مكوَّنةٌ من مئاتٍ بل آلافِ الأليافِ العضليَّةِ، بحسبِ حجمِ العضلةِ. وهي تحتوي أيضًا على النسيجِ الضامِّ والأوعيةِ الدمويَّةِ. والخلايا العضليَّةُ، ككلِّ خلايا الجسمِ، ليِّنةٌ تسهلُ إصابتُها. يغطّي النسيجُ الضامُّ كلَّ ليفةٍ عضليَّةٍ كما أنهُ يدعمُها ويعزِّزُها.

تعتمدُ صحةُ العضلاتِ على كفايتِها من الإمدادِ الدمويِّ والعصبيِّ. كلُّ ليفةٍ عضليَّةٍ هيكليَّةٍ مزودةٌ بنهاياتٍ عصبيَّةٍ تتحكَّمُ في نشاطِها. تستهلكُ العضلاتُ الناشطةُ الكثيرَ من الطاقةِ. فتتطلَّبُ بالتالي إمدادًا متواصلاً بالأكسجينِ والموادِّ الغذائيَّةِ عن طريقِ الشرايينِ. كما تنتجُ العضلاتُ كميّاتٍ كبيرةً من الفضلاتِ الأيضيّةِ التي يجبُ طرحُها عن طريقِ الأوردةِ.

تحتوي ليفةٌ عضليَّةٌ هيكليَّةٌ، كتلكَ الظاهرةِ في الشكلِ 1-11، على حزمٍ من التراكيبِ الخيطيَّةِ الشكلِ تُسمّى **اللُّيَيْفاتِ العضليَّةَ Myofibrils**. تتكوَّنُ كلُّ لُيَيْفةٍ عضليَّةٍ من نوعينِ من الخيوطِ البروتينيَّةِ: سميكةٍ ودقيقةٍ. تتكوَّنُ الخيوطُ السميكةُ من بروتينِ **الميوسينِ Myosin**، كما تتكوَّنُ الخيوطُ الدقيقةُ من بروتينِ **الأكتينِ Actin**. إن خيوطَ الميوسينِ والأكتينِ منسَّقةٌ بحيثُ تشكِّلُ نمطًا متداخلاً يعطي النسيجَ العضليَّ



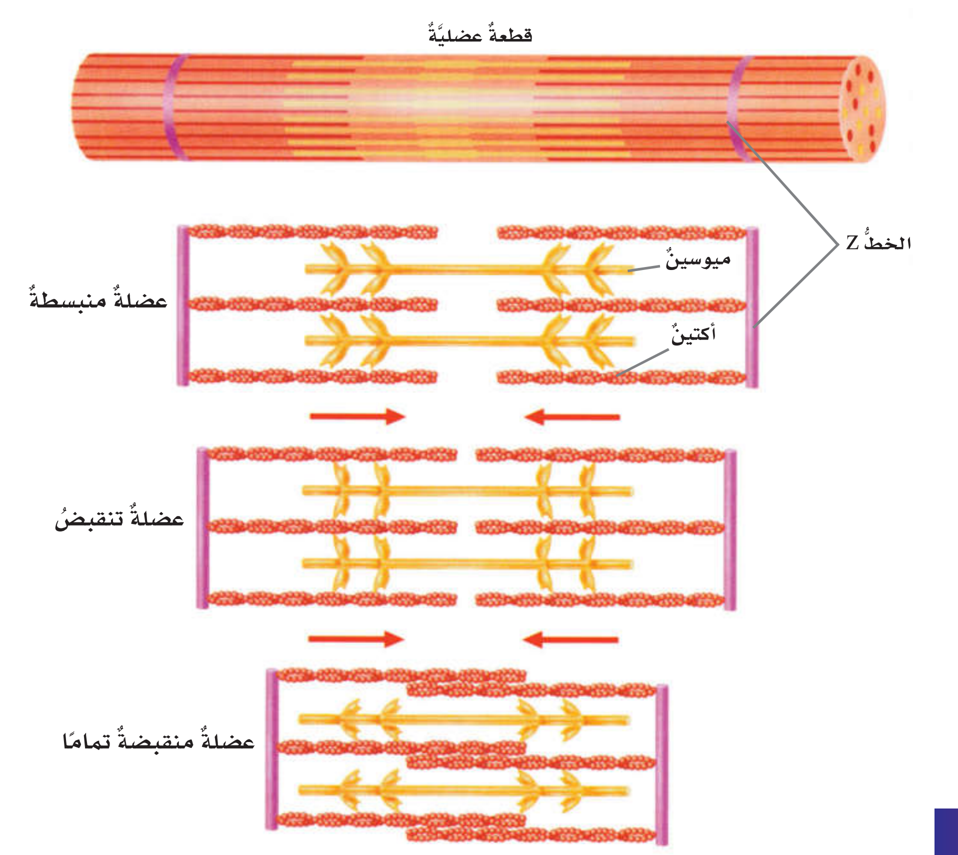
الشكل 1-11

تتكوَّنُ العضلاتُ الهيكليَّةُ من مجموعاتٍ متراصَّةٍ وكثيفةٍ من الخلايا الطويلةِ تسمَّى الحزمَ العضليَّةَ، وتكونُ متماسكةً بفضلِ نسيجٍ ضامٍّ. تتكوَّنُ الأليافُ العضليَّةُ من خيوطٍ بروتينيَّةٍ تسمَّى اللُّيَيْفاتِ العضليَّة. يوجدُ نوعانِ من الخيوطِ في الأليافِ العضليَّةِ: الأكتينُ والميوسينُ. تتفاعلُ التراكيبُ التكامليَّةُ للأكتينِ والميوسينِ لتوفِّرَ انقباضَ العضلاتِ وانبساطَها.

المخطّطَ مظهرَهُ المقلَّمَ. وترتكزُ الخيوطُ الأكتينيَّةُ الدقيقةُ عندَ نقاطِها الطرفيَّةِ، على تركيبٍ يُسمّى **الخطّ z**، **Z line**. تسمّى المنطقةُ بينَ خطَّيْ z متتاليَيْنِ، **القطعةَ العضليَّةَ Sarcomere**.

الانقباضُ العضليُّ

القطعةُ العضليَّةُ هي الوحدةُ الوظيفيَّةُ للانقباضِ العضليِّ. عندما تنقبضُ العضلةُ، تتفاعلُ خيوطُ الأكتينِ وخيوطُ الميوسينِ لتقليصِ طولِ القطعةِ العضليَّةِ. ولخيوطِ الميوسينِ امتداداتٌ على شكلِ رؤوسٍ بيضويَّةٍ. كما تبدو خيوطُ الأكتينِ على صورةِ خيوطٍ ملتفَّةٍ من حباتِ الخرزِ (twisted strand of beads). عندما ينبِّهُ السيَّالُ العصبيُّ العضلةَ كي تنقبضَ، ترتبطُ رؤوسُ خيوطِ الميوسينِ بمواقعَ بينَ خرزاتِ خيوطِ الأكتينِ مشكِّلةً جسورًا عرضيَّةً. فتنحني رؤوسُ الميوسينِ إلى الداخلِ، ساحبةً معها الأكتينَ ثم تتفكّكُ الجسورُ العرضيَّةُ، وتعودُ الرؤوسُ لترتبطَ من جديدٍ بموقعٍ آخرَ عندَ خيوطِ الأكتينِ، فتتمُّ عمليَّةُ السحبِ من جديدٍ. يقصرُ طولُ القطعةِ العضليَّةِ وكذلكَ كاملُ الليفةِ، وبالتالي تنقبضُ العضلةُ بكاملِها. يبيِّنُ الشكلُ 1-12، تراكيبَ القطعةِ العضليَّةِ.



الشكل 1-12
أثناءَ انبساطِ العضلةِ، تكونُ خيوطُ الأكتينِ متداخلةً معَ خيوطِ الميوسينِ في العضلةِ. وأثناءَ انقباضِ العضلةِ تنزلقُ خيوطُ الأكتينِ بينَ خيوطِ الميوسينِ، فيقصرُ طولُ القطعةِ العضليَّةِ.

يتطلَّبُ الانقباضُ العضليُّ طاقةَ ATP. تُستخدمُ هذهِ الطاقةُ في عمليَّةِ فصلِ الميوسينِ عن خيوطِ الأكتينِ. وإذا حدثَ نقصٌ في تزويدِ العضلةِ بطاقةِ ATP، فإن الجسورَ العرضيَّةَ تبقى مرتبطةً بمكانٍ واحدٍ من الأكتينِ، فيحدثُ *تشنُّجُ العضلةِ Rigor*. إن انقباضَ ليفِ العضلةِ يتبعُ قانونَ *الكلِّ أو العدمِ Law of all or none*. إما أن ينقبضَ الليفُ أو يبقى منبسطًا. فكيفَ إذن، يمكنُكَ تحقيقُ انقباضٍ شديدٍ لعضلاتِكَ كي ترفعَ الأثقالَ، أو تحقيقُ انقباضٍ خفيفٍ لعضلاتِكَ كي ترفعَ قلمَ حبرٍ؟ تتحدَّدُ قوةُ الانقباضِ العضليِّ بعددِ الأليافِ العضليَّةِ التي يتمُّ تنبيهُها؛ فكلما جرى تنبيهُ أليافٍ إضافيَّةٍ، ازدادَتِ القوَّةُ في الانقباضِ.

تحريكُ العضلاتِ للعظامِ

تكونُ العضلاتُ الهيكليَّةُ مثبَّتةً بطرفٍ واحدٍ من العظامِ، ومشدودةً عبرَ مفصلٍ، ومثبَّتةً بطرفِ عظمٍ آخرَ. والعضلاتُ مثبَّتةٌ بالسمحاقِ، إما بشكلٍ مباشرٍ أو بواسطةِ حبلٍ ليفيٍّ متينٍ من النسيجِ الضامِّ يسمّى **الوترَ Tendon**. فمثلاً، كما يبيِّنُ الشكلُ 1-13، الطرفُ الأولُ للعضلةِ الثنائيَّةِ الرأسِ في الذراعِ، يتَّصلُ بعظمِ الكعبرةِ بواسطةِ أوتارٍ؛ بينما يتَّصلُ الطرفُ الآخرُ للعضلةِ بعظمةِ لوحِ الكتفِ. عندما تنقبضُ العضلةُ الثنائيَّةُ الرأسِ، ينثني الساعدُ إلى أعلى بينما تظلُّ عظمةُ لوحِ الكتفِ ثابتةً. النقطةُ التي تتَّصلُ فيها العضلةُ بالعظمِ الثابتِ، في هذهِ الحالةِ عظمةُ اللوحِ، تسمّى **الأصلَ Origin**.



نشاطٌ عمليٌّ سريعٌ

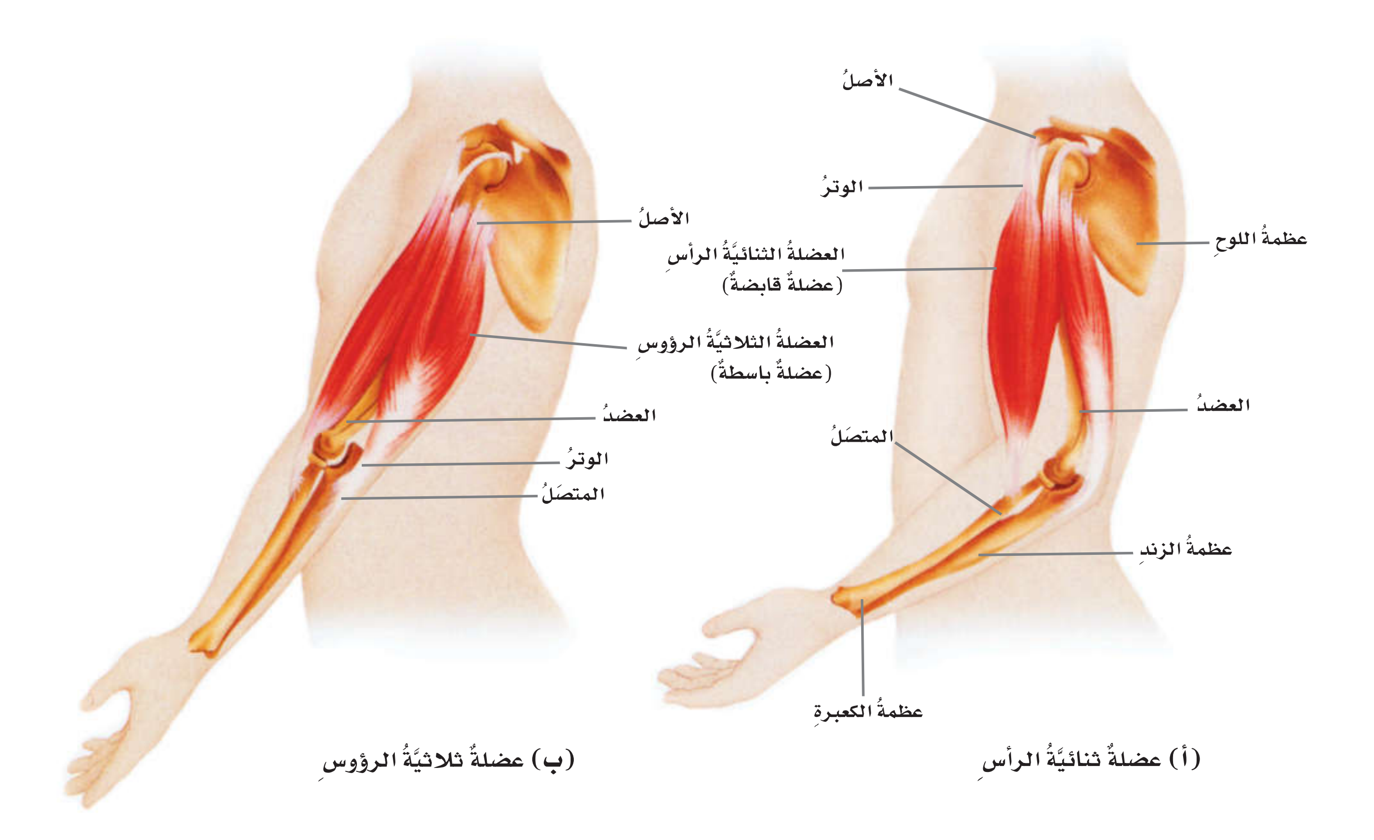
اختبارُ قوةِ العضلاتِ وقدرتِها على التحمُّلِ

الموادُّ ميزانٌ منزليٌّ، دفترٌ صغيرٌ لتسجيلِ الملاحظاتِ، قلمُ رصاصٍ.

الإجراءُ

1. ضعْ جدولاً للمقارنةِ بينَ قوةِ العضلاتِ الصدريَّةِ، عندَ أربعِ فتراتٍ زمنيَّةٍ مختلفةٍ، تفصلُ الفترةَ عن الأخرى دقيقةٌ واحدةٌ.
2. اضغطِ الميزانَ بين كفَّيْكَ الاثنتينِ. دعْ زميلَكَ يسجِّلُ مقدارَ الضغطِ المسلَّطِ عن طريقِ عضلاتِكَ الصدريَّةِ.
3. ضعِ الميزانَ في مكانِهِ واضغطْ بيدَيْكَ نحوَ الأمامِ لمدةِ دقيقةٍ واحدةٍ. اضغطِ الميزانَ من جديدٍ بينَ كفَّيْكَ الاثنتَينِ ودعْ زميلَكَ يسجِّلُ الضغطَ.
4. عاوِدْ تنفيذَ الخطوتينِ 2 و 3 مرتينِ أخريَينِ. ثمَّ كرِّرِ التجربةَ مع زميلِكَ الذي عليهِ هو أن يضغطَ على الميزانِ فيما تقومُ أنتَ بتسجيلِ الضغطِ.

التحليلُ كيفَ تفسِّرُ عملَ عضلاتِكَ استنادًا إلى البياناتِ التي تمَّ تسجيلُها لمقدارِ الضغطِ؟



الشكل 1-13
العضلاتُ الهيكليَّةُ، كالعضلةِ الثنائيَّةِ الرأسِ والعضلةِ الثلاثيَّةِ الرؤوسِ للذراعِ العلويَّةِ، تتصلُ بالعظامِ بواسطةِ أوتارٍ. (أ) عندما تنقبضُ العضلةُ الثنائيَّةُ الرأسِ، ينثني المرفق. (ب) عندما تنقبضُ العضلةُ الثلاثيَّةُ الرؤوسِ، يستقيمُ المرفق.

أما النقطةُ التي تتَّصلُ عندها العضلةُ بالعظمِ المتحرِّكِ، في هذهِ الحالةِ عظمةُ الكعبرةِ، فتسمّى **المتَّصَلَ Insertion**. تُحرِّكُ العضلاتُ العظامَ عن طريقِ سحبِها وليسَ عن طريقِ دفعِها.

تعملُ معظمُ العضلاتِ الهيكليَّةِ بشكلِ أزواجٍ متضادَّةٍ. فبينما تحرِّكُ عضلةٌ، في زوجٍ معيَّنٍ، طرفًا من الأطرافِ في اتجاهٍ محدَّدٍ، تتحرَّكُ العضلةُ الأخرى، في الزوجِ نفسِهِ، في الاتِّجاهِ المعاكسِ. فمثلاً، عندما تنقبضُ العضلةُ الثنائيَّةُ الرأسِ، ينثني المرفق. وعندما تنقبضُ العضلةُ الثلاثيَّةُ الرؤوسِ تستقيمُ الذراعُ. تسمّى العضلةُ الثنائيَّةُ الرأسِ **العضلةَ القابضةَ Flexor**، أي العضلةَ التي تطوي المفصلَ. أما العضلةُ الثلاثيَّةُ الرؤوسِ، فتُسمّى **العضلةَ الباسطةَ Extensor**، أي العضلةَ التي تجعلُ المفصلَ يستقيمُ. وللقيامِ بحركةٍ سلسةٍ، لا بدَّ أن تنقبضَ إحدى عضلتَي الزوجِ وتنبسطَ العضلةُ المقابلةُ.

تعبُ العضلةِ

تخزِّنُ خلايا العضلاتِ الجلايكوجينَ، وتستخدمُهُ كمصدرٍ للطاقةِ عندما لا يستطيعُ الدمُ إمدادَها بما يكفي من الجلوكوز. تحرِّرُ عمليَّةُ تفكيكِ الجلايكوجينِ كميّاتٍ كبيرةً من الطاقةِ. وفي بعضِ الحالاتِ، تنفدُ الكميّاتُ المخزونةُ تلك. وخلالَ جهدٍ عمليٍّ لفترةٍ طويلةٍ، تُستخدمُ الجزيئاتُ الدهنيَّةُ للطاقةِ. تحتوي تلكَ الجزيئاتُ على الطاقةِ الكامنةِ بدرجةِ تركيزٍ أعلى من درجةِ تركيزِ الطاقةِ التي يحتوي عليها أيُّ جزيءٍ آخرَ

في الجسمِ. وعندما لا تعودُ كميَّةُ الطاقةِ تكفي استخداماتِ العضلةِ، يحدثُ **تعبُ العضلةِ Muscle fatigue**، ويتوقفُ النشاطُ العضليُّ الخاضعُ للتحكُّمِ، حتى وإن كانتِ العضلةُ لا تزالُ تتلقى التنبيهاتِ العصبيَّةَ لكيْ تعملَ. وفي غيابِ الـ ATP، تحدُثُ حالةٌ من الانقباضِ المتواصلِ، فيشكو عندَها الإنسانُ من شدٍّ عضليٍّ قويٍّ، أي تشنُّجٍ عضليٍّ.

نقصُ الأكسجينِ

يُستخدَمُ الأكسجينُ خلالَ التنفُّسِ الخلويِّ، في بناءِ ATP. هناكَ حاجةٌ إلى كميّاتٍ كبيرةٍ من الأكسجينِ للحفاظِ على الكميَّةِ القصوى لإنتاجِ ATP الضروريِّ لإجراءِ التمرينِ القويِّ لفترةٍ طويلةٍ. لكنْ، وبعدَ دقائقَ من الجهدِ العضليِّ القويِّ، لا يعودُ الجهازُ الدوريُّ والجهازُ التنفُّسيُّ قادرَيْنِ على توفيرِ ما يكفي من الأكسجينِ لإنتاجِ الطاقةِ. عندَها تنخفضُ كميةُ الأكسجينِ في الجسمِ، ويُسمّى هذا الانخفاضُ المؤقَّتُ لكمِّيّةِ الأكسجينِ **نقصَ الأكسجينِ Oxygen debt**. يؤدّي نقصُ الأكسجينِ إلى تراكمِ الحمضِ اللبَنيِّ، كفضلاتٍ أيضيَّةٍ في الأليافِ العضليَّةِ، فيسبِّبُ الإحساسَ بالألمِ. يتسبّبُ نقصُ الأكسجينِ في جعلِ الفردِ يتنفسُ سريعًا وعميقًا لفترةٍ طويلةٍ بعدَ تمرينٍ مجهدٍ. غيرَ أن الألمَ العضليَّ قد يستمرُّ حتى تُطرحَ أو تُحوَّلَ كلُّ الفضلاتِ الأيضيَّةِ التي تراكمَتْ في الأليافِ العضليَّةِ عندَ توفُّرِ كميّاتٍ كافيةٍ من الأكسجينِ.

مراجعةُ القسمِ 1-3

1. قارنْ بينَ الأنواعِ الثلاثةِ للأنسجةِ العضليَّةِ الموجودةِ في الجسمِ.
2. لماذا تسمّى العضلةُ الملساءُ العضلةَ اللاإراديَّةَ؟
3. لماذا تبدو الأليافُ العضليَّةُ الهيكليَّةُ مخطَّطةً؟
4. كيف تنقبضُ العضلاتُ الهيكليَّةُ؟
5. كيف تعملُ العضلاتُ معًا على تحريكِ العظامِ؟
6. ما الفرقُ بينَ وظيفةِ العضلةِ القابضةِ ووظيفةِ العضلةِ الباسطةِ؟
7. ما الذي يسبِّبُ إصابةَ العضلاتِ بالتعبِ.

تفكيرٌ ناقدٌ

8. التشنُّجُ الموتيُّ هو الحالةُ التي تصبحُ فيها كلُّ عضلاتِ جسمِ الميتِ صلبةً، بعدَ الوفاةِ بقليلٍ. ما سببُ التشنُّجِ الموتيِّ؟

مراجعةُ الفصل 1

ملخَّصٌ / مفرداتٌ

1-1

■ لجسمِ الإنسانِ أربعةُ أنواعٍ رئيسةٍ من الأنسجةِ هي: النسيجُ العضليُّ والنسيجُ العصبيُّ والنسيجُ الطلائيُّ والنسيجُ الضامُّ.

■ النسيجُ مجموعةٌ من الخلايا، والعضوُ مجموعةٌ من الأنسجةِ، والجهازُ مجموعةٌ من الأعضاءِ.

■ يقعُ الكثيرُ من الأعضاءِ في التجاويفِ الخمسةِ الرئيسةِ للجسمِ، وهي: التجويفُ البطنيُّ، تجويفُ الجمجمةِ، التجويفُ الشوكيُّ، التجويفُ الصدريُّ، التجويفُ الحوضيُّ.

مفرداتٌ

التجويفُ البطنيُّ Abdominal cavity (8)
تجويفُ الجمجمةِ Cranial cavity (8)
التجويفُ الحوضيُّ Pelvic cavity (8)
التجويفُ الصدريُّ Thoracic cavity (8)
التجويفُ الشوكيُّ Spinal cavity (8)
الحجابُ الحاجزُ Diaphragm (8)
الخلايا العصبيَّةُ Neurons (5)
العضلةُ القلبيَّةُ Cardiac muscle (5)
العضلاتُ الملساءُ Smooth muscles (5)
العضلاتُ الهيكليَّةُ Skeletal muscles (5)
العضوُ Organ (7)
المادَّةُ الخلاليَّةُ Matrix (6)
النسيجُ الضامُّ Connective tissue (6)
النسيجُ الطلائيُّ Epithelial tissue (6)
النسيجُ العصبيُّ Nervous tissue (5)
النسيجُ العضليُّ Muscle tissue (5)

2-1

■ يتألَّفُ الهيكلُ العظميُّ، عندَ الإنسانِ، من هيكلٍ محوريٍّ يتضمَّنُ: الجمجمةَ، الأضلاعَ، العمودَ الفقاريَّ، القصَّ؛ ومن هيكلٍ طرفيٍّ يتضمَّنُ: الذراعينِ، الرجلينِ، الكتفينِ، الترقوةَ، الحوضَ.

■ تدعمُ العظامُ العضلاتِ، وتعطي الجسمَ شكلَهُ، وتحمي الأعضاءَ وتخزنُ الأملاحَ، وتنتجُ خلايا الدمِ.

■ تتكوّنُ العظامُ من أملاحٍ، ومن أليافٍ بروتينيَّةٍ، ومن خلايا.

■ تنشأُ معظمُ العظامِ من الغضروفِ عبر عمليَّةٍ تُعرَفُ بتكوّنِ العظمِ.

■ لجسمِ الإنسانِ ثلاثةُ أنواعٍ من المفاصلِ هي: الثابتةُ، المحدودةُ الحركةِ، المتحرِّكةُ. يمكنُ أن تُصابَ المفاصلُ بمرضٍ يسمّى داءَ التهابِ المفاصلِ.

مفرداتٌ

التهابُ المفاصلِ الروماتيديُّ Rheumatoid arthritis (14)
التهابُ المفاصلِ العظميُّ Osteoarthritis (14)
تكوُّنُ العظمِ Ossification (12)
الخليَّةُ العظميَّةُ Osteocyte (11)
الرباطُ Ligament (14)
السائلُ المفصليُّ Synovial fluid (14)
السِّمحاقُ Periosteum (10)
العظمُ الإسفنجيُّ Spongy bone (11)
العظمُ الكثيفُ Compact bone (10)
قناةُ هافرس Haversian canal (11)
الكسرُ Fracture (11)
لوحةُ طرفِ العظمِ Epiphyseal plate (12)
المفصلُ Joint (13)
المفصلُ الثابتُ Fixed joint (13)
المفصلُ المحدودُ الحركةِ Semimovable joint (13)
المفصلُ المتحرِّكُ Movable joint (13)
نخاعُ العظمِ Bone marrow (11)
الهيكلُ العظميُّ Skeleton (9)
الهيكلُ العظميُّ المحوريُّ Axial skeleton (9)
الهيكلُ العظميُّ الطرفيُّ Appendicular skeleton (9)

3-1

■ لجسمِ الإنسانِ ثلاثةُ أنواعٍ من العضلاتِ هي: العضلاتُ الهيكليَّةُ، العضلاتُ الملساءُ، عضلةُ القلبِ.

■ تتألَّفُ العضلاتُ الهيكليَّةُ من مجموعةِ أليافٍ. تحتوي الأليافُ العضليَّةُ على لُيَيفاتٍ عضليَّةٍ مكوَّنةٍ من خيوطٍ بروتينيَّةٍ.

■ خلالَ الانقباضِ العضليِّ، تتفاعلُ خيوطُ الميوسينِ والأكتينِ كي يقصرَ طولُ القطعةِ العضليَّةِ.

■ معظمُ العضلاتِ الهيكليَّةِ منسَّقةٌ على صورةِ أزواجٍ متضادةٍ.

مفرداتٌ

الأصلُ Origin (18)
الأكتينُ Actin (16)
تعبُ العضلةِ Muscle fatigue (20)
الخطوطُ Striations (15)
الخطُّ Z Z line (17)
العضلةُ الإراديَّةُ Voluntary muscle (15)
العضلةُ الباسطةُ Extensor (19)
العضلةُ القابضةُ Flexor (19)
العضلةُ اللاإراديَّةُ Involuntary muscle (16)
القطعةُ العضليَّةُ Sarcomere (17)
الليفةُ العضليَّةُ Muscle fiber (15)
اللُّيَيْفةُ العضليَّةُ Myofibril (16)
المتَّصَلُ Insertion (19)
الميوسينُ Myosin (16)
نقصُ الأكسجينِ Oxygen debt (20)
الوترُ Tendon (18)

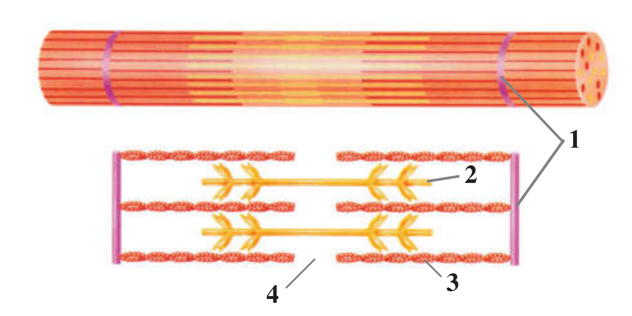
مراجعةٌ

مفرداتٌ

1. اخترِ المفردةَ التي لا تنتمي إلى المجموعةِ التاليةِ، وعلِّلْ عدمَ انتمائِها: مفصلٌ سرجيٌّ، مفصلٌ محوريٌّ، مفصلٌ ثابتٌ، مفصلٌ ذو مِفصلةٍ، مفصلٌ كرويٌّ.
2. ميِّزْ بينَ العظمِ الكثيفِ والعظمِ الإسفنجيِّ.
3. استخدمِ المفرداتِ الأساسيةَ التاليةَ في جملةٍ واحدةٍ: الأكتينُ، الليفةُ العضليَّةُ، اللُّييفاتُ العضليَّةُ، الميوسينُ.

اختيارٌ من متعدِّدٍ

4. ما الأعضاءُ التي يحتوي عليها التجويفُ الصدريُّ؟
   - **أ.** الدماغُ.
   - **ب.** العمودُ الفقاريُّ.
   - **ج.** أعضاءُ الجهازِ الهضميِّ.
   - **د.** أعضاءُ الجهازِ التنفُّسيِّ.
5. أيٌّ من التالي هو المادةُ التي تنغمرُ فيها خلايا النسيجِ الضامِّ؟
   - **أ.** المادةُ الخلاليَّةُ.
   - **ب.** السمحاقُ.
   - **ج.** نخاعُ العظمِ.
   - **د.** السائلُ المفصليُّ.
6. أيٌّ من التالي وظيفةُ السمحاقِ؟
   - **أ.** يغلِّفُ العظمَ.
   - **ب.** يحتوي على نخاعِ العظمِ.
   - **ج.** مكوَّنٌ من خلايا ميتةٍ.
   - **د.** يزيدُ من طولِ العظامِ الطويلةِ.
7. أكملِ التوافقَ التاليَ: عصبٌ : خليةٌ عصبيةٌ ؛ عظمٌ:
   - **أ.** دماغٌ.
   - **ب.** هيكلٌ عظميٌّ.
   - **ج.** خليةٌ عظميَّةٌ.
   - **د.** قناةُ هافرسَ.
8. يظهرُ الرسمُ التخطيطيُّ التالي قطعةً عضليَّةً وخيوطَ الأكتينِ والميوسينِ. استخدمِ الرسمَ للإجابةِ عن السؤالِ الذي يليهِ.



أيُّ رقمٍ يشيرُ إلى الخطِّ Z ؟
   - **أ.** 1
   - **ب.** 2
   - **ج.** 3
   - **د.** 4

إجابةٌ قصيرةٌ

9. ما النسيجُ الطلائيُّ؟
10. وضِّحِ الصلةَ بينَ الخلايا والأنسجةِ والأعضاءِ والأجهزةِ.
11. ما الأعضاءُ التي توجدُ في التجويفِ البطنيِّ.
12. سمِّ عظامَ الهيكلِ المحوريِّ.
13. ما الوظائفُ الخمسُ للجهازِ الهيكليِّ؟
14. وضِّحْ دورَ قنواتِ هافرسَ في العظمِ الكثيفِ.
15. ما نخاعُ العظمِ الأحمرِ؟ أينَ يقعُ؟ وما وظيفتُهُ؟
16. وضِّحْ كيفيةَ تكوُّنِ العظامِ واستطالتِها.
17. اذكرِ الأنواعَ الثلاثةَ للمفاصلِ، وأعطِ مثالاً على كلِّ نوعٍ.
18. اذكرْ سببَ مرضِ التهابِ المفاصلِ الروماتيديِّ وأعراضَهُ.
19. ما الفرقُ بينَ العضلاتِ الثلاثِ التاليةِ: العضلةِ الهيكليَّةِ، العضلةِ الملساءِ، العضلةِ القلبيَّةِ؟
20. صِفْ مكوِّناتِ القطعةِ العضليَّةِ.

21. وضِّحْ كيفيةَ انقباضِ العضلةِ الهيكليَّةِ.
22. كيفَ تساهمُ العضلاتُ في تحريكِ العظامِ؟
23. ما وظائفُ الأوتارِ والأربطةِ؟
24. ينتجُ نخاعُ العظمِ الأحمرِ، داخلَ العظمِ الاسفنجيِّ، خلايا الدمِ الحمراءَ، وهي خلايا متخصِّصةٌ في نقلِ الأكسجينِ عبرَ أجزاءِ الجسمِ كلِّهِ.
كيفَ يتمُّ نقلُ خلايا الدمِ الحمراءِ في الجسمِ؟
25. استخدمِ المفرداتِ التاليةَ لوضعِ خريطةِ مفاهيمَ توضحُ المستوياتِ الأربعةَ لتنظيمِ الجسمِ: نسيجٌ عضليٌّ، نسيجٌ ضامٌّ، نسيجٌ طلائيٌّ، نسيجٌ عصبيٌّ، عضوٌ، جهازٌ.

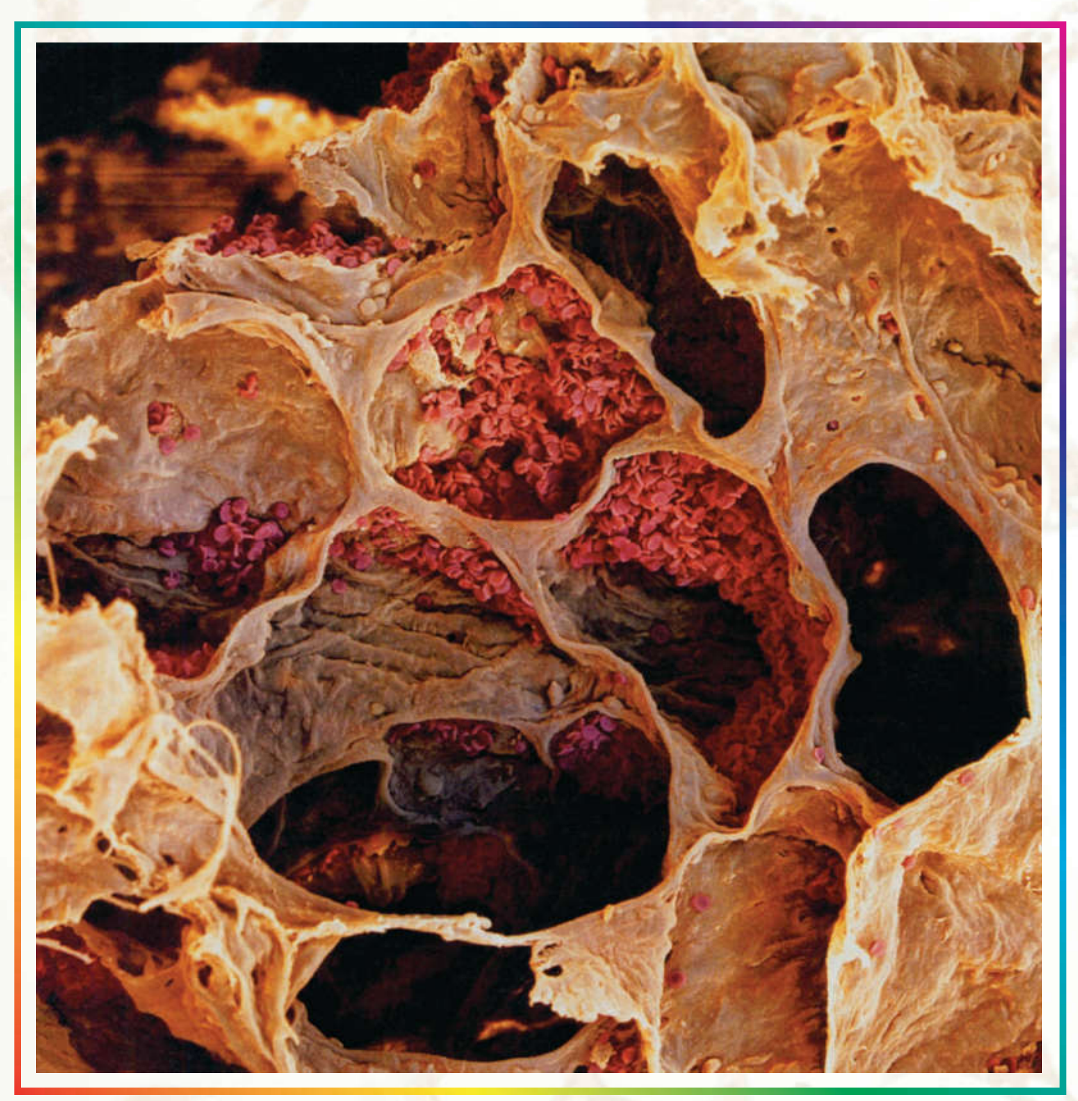
تفكيرٌ ناقدٌ

1. الجيادُ الفتيَّةُ التي تمَّ تدريبُها لخوضِ سباقاتٍ خلالَ السنواتِ الأولى من حياتِها معرَّضةٌ للإصابةِ بكسورٍ في عظامِ أرجلِها. علامَ تستدلُّ بشأنِ عمليَّةِ تكوُّنِ العظامِ عندَ الجيادِ؟
2. يتَّصفُ حوضُ المرأةِ بقطرٍ أكبرَ، وبشكلٍ أكثرَ بيضويةً من حوضِ الرجلِ. كما أن عظامَ جمجمةِ المولودِ غيرُ مكتملةِ النموِّ. فما فوائدُ هذه الخصائصِ العظميَّةِ في عمليَّةِ الولادةِ؟

توسيعُ آفاقِ التفكيرِ

تحيطُ طبقةٌ منفردةٌ من العضلاتِ الملساءِ بجدرانِ الأوعيةِ الدمويَّةِ. تتَّصفُ جدرانُ المعدةِ والأمعاءِ الدقيقةِ بطبقةٍ دائريَّةٍ وبطبقةٍ طوليَّةٍ من العضلاتِ الملساءِ. كيفَ يبيِّنُ تنسيقُ عضلاتِ الأوعيةِ الدمويَّةِ وظيفةَ هذا التركيبِ؟ كيفَ يبيِّنُ تنسيقُ عضلاتِ المعدةِ والأمعاءِ الدقيقةِ وظيفةَ هذا التركيبِ؟

الجهازُ الدوريُّ والجهازُ التنفُّسيُّ



تبيِّنُ هذه الصورةُ الأكياسَ الهوائيَّةَ في رئةِ إنسانٍ. (780×)

1-2 الجهازُ الدوريُّ

2-2 الدمُ

3-2 الجهازُ التنفُّسيُّ

المفهومُ الرئيسُ التركيبُ والوظيفةُ

وأنت تقرأُ لاحظِ الصلةَ بينَ تركيبِ أعضاءِ الجهازِ الدوريِّ ووظيفتِهِ في النقلِ وبينَ تركيبِ أعضاءِ الجهازِ التنفُّسيِّ ووظيفتِهِ في التبادلِ الغازيِّ.

القســـم

1-2

النواتج التعليمية

- يصفُ تركيبَ قلبِ الإنسانِ ووظيفتَهُ.
- يتتبَّعُ مسارَ الدمِ عبرَ القلبِ والجسمِ.
- يميِّزُ من حيثُ التركيبُ والوظيفةُ بينَ الشرايينِ والأوردةِ والشعيراتِ الدمويَّةِ.
- يميِّزُ بينَ الدورةِ الرئويَّةِ والدورةِ الجهازيَّةِ.
- يلخِّصُ وظائفَ الجهازِ اللمفيِّ.

الجهازُ الدوريُّ

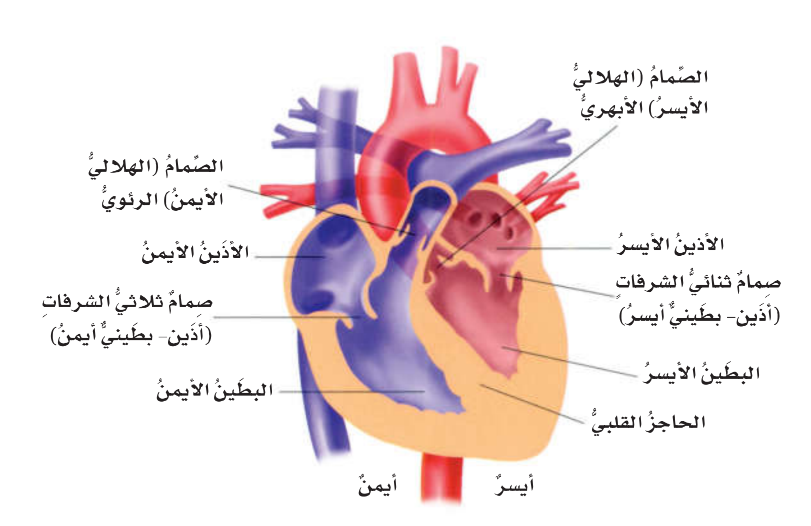
معظمُ الخلايا في جسمِ الإنسانِ ليسَتْ على اتِّصالٍ بالمحيطِ البيئيِّ الخارجيِّ. يعملُ الجهازُ الدوريُّ كوسيلةِ نقلٍ بينَ تلكَ الخلايا. ينتقلُ عبرَهُ سائلانِ هما الدمُ واللمفُ. يتألَّفُ **الجهازُ الوعائيُّ القلبيُّ Cardiovascular system** من الدمِ والقلبِ والأوعيةِ الدمويَّةِ. ويتكوَّنُ **الجهازُ اللمفيُّ Lymphatic system** من اللمفِ والعقدِ والأوعيةِ اللمفيَّةِ. والجهازانِ الوعائيُّ القلبيُّ واللمفيُّ يكوِّنانِ معًا الجهازَ الدوريَّ *Circulatory system*. ينقلُ الجهازُ الدوريُّ الموادَّ الغذائيَّةَ والهرموناتِ والغازاتِ، ويطرحُ الفضلاتِ، ويحافظُ على ثباتِ درجةِ الحرارةِ في الجسمِ.

القلبُ

القلبُ هو العضوُ المركزيُّ في الجهازِ الوعائيِّ القلبيِّ، وهوَ عضوٌ عضليٌّ، يبلغُ حجمُهُ حجمَ قبضةِ اليدِ تقريبًا. يضخُّ القلبُ الدمَ عبرَ شبكةٍ من الأوعيةِ الدمويَّةِ، من موقعِهِ داخلَ التجويفِ الصدريِّ، وراءَ عظمةِ القصِّ بينَ الرئتَين. يحيطُ بالقلبِ غشاءٌ مزدوجٌ متينٌ، يشبهُ الكيسَ، يسمّى *التامورَ Pericardium*. يفرزُ التامورُ سائلاً يخفِّفُ من الاحتكاكِ عندما ينقبضُ القلبُ.

لاحظْ في الشكلِ 2-1، *الحاجزَ القلبيَّ Septum* الرأسيَّ الذي يقسمُ القلبَ إلى جانبَين، جانبٍ أيمنَ، وجانبٍ أيسرَ. يُقسمُ كلُّ جانبٍ من القلبِ إلى حجرةٍ علويَّةٍ تسمّى **الأُذَينَ Atrium**، وحجرةٍ سفليَّةٍ تسمّى **البُطَينَ Ventricle**.

الصِّماماتُ Valves ثنيّاتٌ تفتحُ في اتِّجاهٍ واحدٍ فقط. فالصِّمامُ *الأذينُ-بطينيُّ* الأيمنُ *Atrioventricular valve*، يُسمّى *الصِّمامَ الثلاثيَّ الشرفاتِ Tricuspid valve*. أما الصِّمامُ الأذينِ-بطينيُّ الأيسرُ فيُسمّى *الصِّمامَ الثنائيَّ الشرفاتِ Bicuspid (mitral) valve*. عندما يضخُّ البطَينانِ الدمَ، يؤدّي ضغطُ الدمِ إلى غلقِ



الشكل 2-1
يمنعُ الحاجزُ القلبيُّ اختلاطَ الدمِ في جانبَي القلبِ. وتسهمُ الصِّماماتُ في تدفُّقِ الدمِ في اتجاهٍ واحدٍ.

الصِّمامين ثنائيِّ الشرفاتِ وثلاثيِّ الشرفاتِ، لمنعِ عودةِ الدمِ في اتِّجاهِ الأذينين. يضخُّ البطينانِ الدمَ، خارجَ القلبِ، إلى أوعيةٍ دمويَّةٍ واسعة. يفصلُ *صمامان هلاليّان Semilunar valves* البطينَين عن هذه الأوعيةِ الدمويَّةِ الواسعةِ، عندَ كلِّ جهةٍ من القلب. ويُعرفُ الصِّمامُ الهلاليُّ الأيمنُ، باسمِ الصِّمامِ الرئويِّ، والصِّمامُ الهلاليُّ الأيسرُ، باسمِ الصِّمامِ الأبهريِّ. يمنعُ الصِّمامانِ الهلاليّانِ عودةَ تدفُّقِ الدمِ إلى البطينينِ أثناءَ استراحةِ القلبِ.

دورانُ الدمِ داخلَ القلبِ

عدْ إلى الشكل 2-2 وتتبَّعْ مسارَ الدمِ وهوَ يدورُ داخلَ القلبِ. يتَّصفُ الدمُ الذي يعودُ إلى القلبِ من أجزاءِ الجسمِ، باستثناءِ الرئتينِ، بتركيزٍ عالٍ لثاني أكسيدِ الكربونِ وتركيزٍ منخفضٍ للأكسجين. 1 يدخلُ الدمُ الفقيرُ بالأكسجينِ الأذينَ الأيمنَ. 2 يضخُّ الأذينُ الأيمنُ الدمَ الفقيرَ بالأكسجينِ إلى البطَينِ الأيمنِ. 3 تنقبضُ عضلاتُ البطَينِ الأيمنِ وتدفعُ الدمَ بقوَّةٍ إلى الشرايينِ الرئويَّةِ. 4 ينقلُ الشريانُ الرئويُّ الدمَ إلى الرئتَين. ومن الرئتين ينتشرُ ثاني أكسيدِ الكربونِ إلى خارجِ الدمِ وينتشرُ الأكسجينُ إلى داخلِ الدمِ. 5 يعودُ الدمُ الغنيُّ بالأكسجينِ إلى الأذينِ الأيسرِ للقلبِ. 6 يتمُّ بعدئذٍ ضخُّ الدمِ الغنيِّ بالأكسجينِ إلى داخلِ البطَينِ الأيسرِ. 7 يدفعُ انقباضُ الجدرانِ العضليَّةِ للبطَينِ الأيسرِ الدمَ بقوةٍ داخلَ وعاءٍ دمويٍّ كبيرٍ هو **الأبهرُ Aorta**. 8 ومنَ الأبهرِ يُنقلُ الدمُ إلى جميعِ أنحاءِ الجسمِ. يتَّصفُ جدارُ البطينِ الأيسرِ بأنهُ أكثرُ أجزاءِ القلبِ سمكًا، ما يسهمُ في دفعِ الدمِ بقوَّةٍ إلى أنحاءِ الجسمِ. لاحظْ في الشكل 2-2 أن تدفّقَ الدمِ في الجهةِ اليسرى من القلبِ مبيَّنٌ بالسهمِ الأحمرِ،

نشاطٌ عمليٌّ سريعٌ

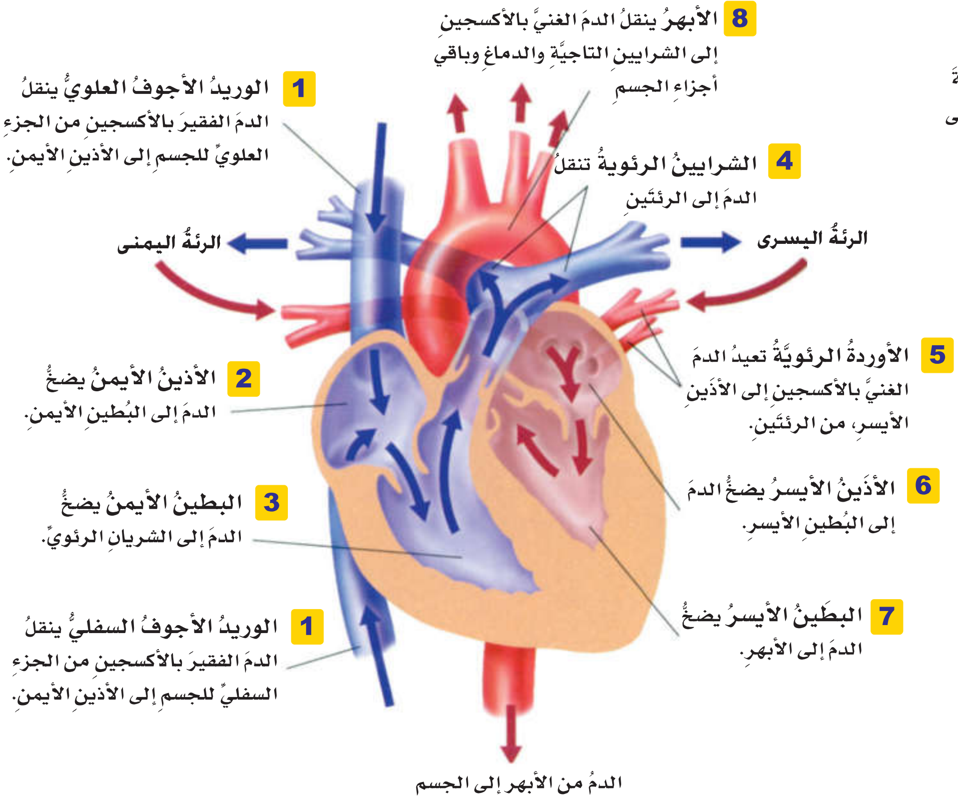
تحديدُ معدَّلِ نبضِ القلبِ

الموادُّ ساعةُ توقيتٍ رقميَّةٌ.

الإجراءُ

1. دعْ زميلكَ يجدْ موقعَ النبضِ في معصمكَ ويعدَّ نبضاتِ قلبكَ لفترةِ 15 ثانيةً وأنتَ جالسٌ. احسبْ معدَّلَ نبضِ قلبِكَ، أي عددَ النبضاتِ في الدقيقةِ الواحدةِ، وأنتَ في حالةِ استراحة.
2. دعْ زميلكَ يعدَّ نبضاتِ قلبِكَ لفترةِ 15 ثانيةً وأنتَ واقفٌ. احسبْ معدَّلَ نبضِ قلبِكَ في الدقيقةِ الواحدة.
3. دعْ زميلكَ يعدَّ نبضاتِ قلبِكَ بعدَ أن تهرولَ وأنت تراوحُ مكانَكَ لفترةِ دقيقةٍ واحدةٍ. احسبْ معدَّلَ نبضِ قلبِكَ في الدقيقةِ الواحدةِ.

التحليلُ ما الذي يجعلُ قلبَكَ ينبضُ؟ لمَ تبدَّلَ معدَّلُ نبضِ قلبِكَ من حالةٍ إلى حالةٍ؟



الشكل 2-2
تتبَّعْ مسارَ الدمِ عبرَ القلب. انتبهْ، إن الرسومَ التخطيطيَّةَ للقلبِ توضِّحُ لك قلبَ شخصٍ يواجهُك. عندما تنظرُ إلى القلب، ترى الجهةَ اليسرى من القلبِ إلى يمينِكَ، والجهةَ اليمنى إلى يسارِكَ.

وهو يمثِّلُ الدمَ الغنيَّ بالأكسجينِ الذي يتَّصِفُ باللونِ الأحمرِ الفاتحِ. أمّا الدمُ الفقيرُ بالأكسجين، فيتمثَّلُ عادةً باللونِ الأزرقِ. لكنَّ هذا الاعتقادَ خاطئٌ. فعندما يرتبطُ الأكسجينُ بالهيموجلوبين يكونُ لونُ الدمِ أحمرَ فاتحًا. وفي غيابِ الأكسجين يكونُ لونُ الدمِ أحمرَ قاتمًا، فيبدو من خلالِ الجلد وجدرانِ الأوردةِ أزرقَ.

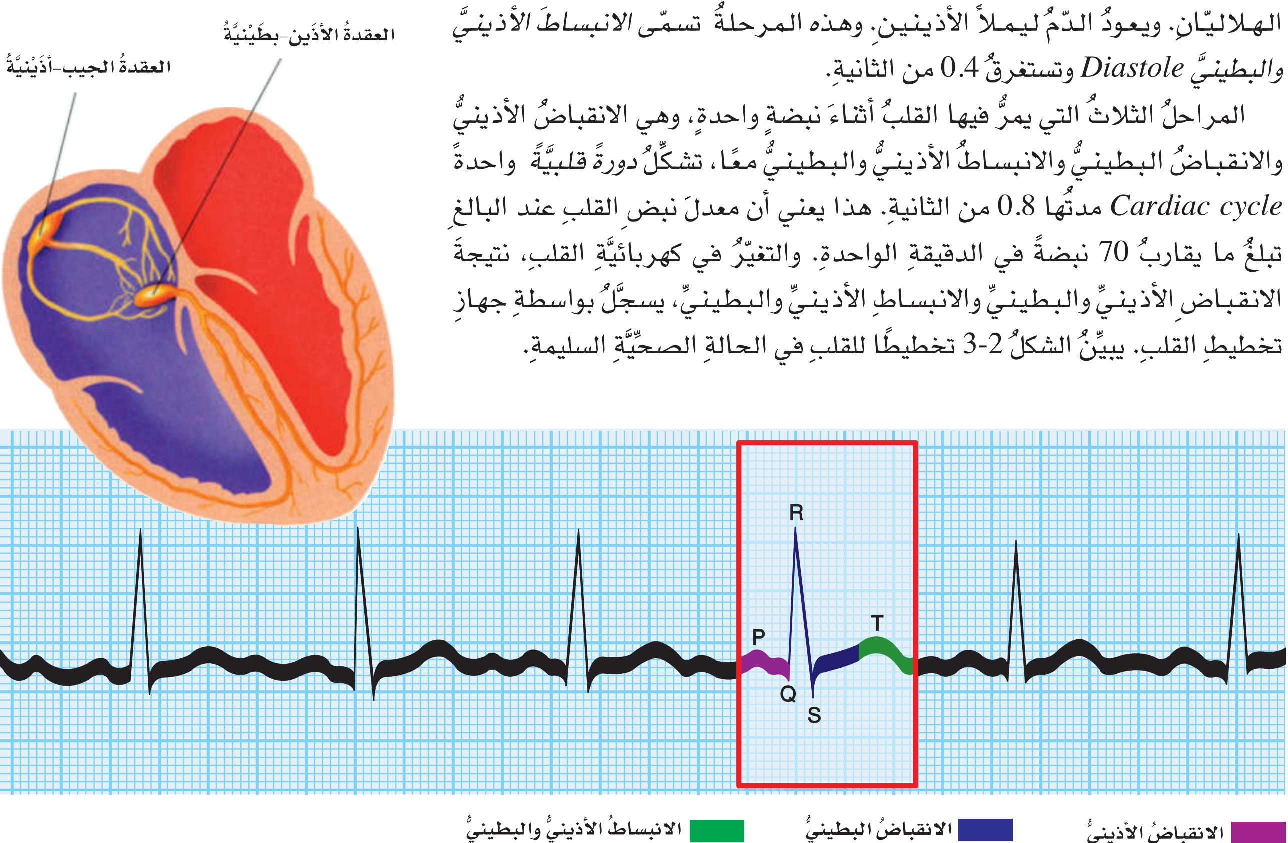
التحكُّمُ في نبضِ القلبِ

العقدةُ الجيبُ-أذينيَّةُ Sinoatrial node مجموعةٌ من خلايا العضلةِ القلبيَّةِ المتخصِّصةِ، ومكانُها في الأذينِ الأيمنِ. هذهِ العقدةُ تسمّى *صانعَ الخَطْوِ Pacemaker* لأنها تنظِّمُ معدَّلَ انقباضِ كاملِ القلبِ. تطلقُ خلايا العقدةِ الجيبِ-أذينيَّةِ سيّالاً كهربائيًّا ذاتيًّا كلَّ 0.8 من الثانيةِ. وترسلُهُ إلى جدرانِ الأذينَيْنِ مسبِّبةً انقباضَهُما. ينفتحُ الصِّمامانِ الأذينِ-بطينيّانِ فيتدفَّقُ الدمُ من الأذينَينِ إلى البطينَينِ. وهذهِ المرحلةُ تسمّى *الانقباضَ الأذَينيَّ Auricular systole*، وتقدَّرُ فترتُها بـ 0.1 من الثانيةِ.

يصلُ السيّالُ الكهربائيُّ الذي أطلقَتْهُ العقدةُ الجيبُ-أذينيَّةُ إلى **العقدةِ الأذينِ-بطينيَّةِ Atrioventricular node** الواقعةِ في الحاجزِ القلبيِّ بينَ الأذينَينِ، الشكل 2-3. ترسلُ هذهِ العقدةُ السيّالَ الكهربائيَّ إلى الخلايا العضليَّةِ التي يتكوَّنُ منها البطينانِ، مسبِّبةً انقباضَ البُطينَيْنِ معًا. ينغلقُ الصِّمامانِ الثنائيُّ الشرفاتِ والثلاثيُّ الشرفاتِ وينفتحُ الصِّمامانِ الهلاليّان، فيندفعُ الدمُ إلى الأبهرِ والشريانِ الرئويِّ. وهذهِ المرحلةُ تسمّى الانقباضَ *البطَينيَّ Ventricular systole*، وتستغرقُ 0.3 من الثانيةِ تقريبًا. بعدئذٍ يستريحُ الأذينانِ والبُطينانِ فينغلقُ الصِّمامانِ الهلاليّانِ. ويعودُ الدّمُ ليملأَ الأذينينِ. وهذه المرحلةُ تسمّى *الانبساطَ الأذينيَّ والبطينيَّ Diastole* وتستغرقُ 0.4 من الثانيةِ.

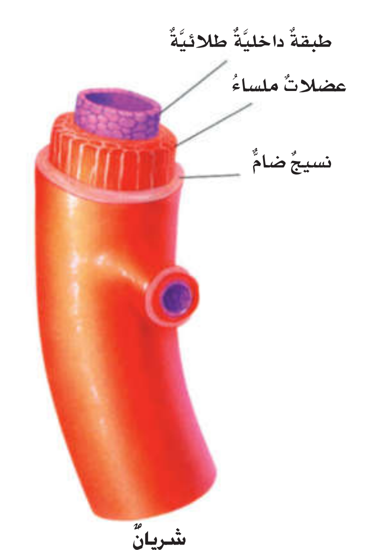
المراحلُ الثلاثُ التي يمرُّ فيها القلبُ أثناءَ نبضةٍ واحدةٍ، وهي الانقباضُ الأذينيُّ والانقباضُ البطينيُّ والانبساطُ الأذينيُّ والبطينيُّ معًا، تشكِّلُ *دورةً قلبيَّةً* واحدةً *Cardiac cycle* مدتُها 0.8 من الثانيةِ. هذا يعني أن معدلَ نبضِ القلبِ عند البالغِ تبلغُ ما يقاربُ 70 نبضةً في الدقيقةِ الواحدةِ. والتغيُّرُ في كهربائيَّةِ القلبِ، نتيجةَ الانقباضِ الأذينيِّ والبطينيِّ والانبساطِ الأذينيِّ والبطينيِّ، يسجَّلُ بواسطةِ جهازِ تخطيطِ القلبِ. يبيِّنُ الشكلُ 2-3 تخطيطًا للقلبِ في الحالةِ الصحيَّةِ السليمةِ.

الشكل 2-3
تتحكَّمُ في نبضِ القلبِ منطقتانِ من نسيجٍ متخصِّصٍ تسمّى الواحدةُ منهُما عقدةً. تخطيطُ القلبِ هو تسجيلٌ للتغيُّرِ الكهربائيِّ للقلبِ. إنهُ أداةٌ مهمَّةٌ في تشخيصِ ما يحدثُ من الاختلالاتِ في انتظامِ القلبِ. كلُّ نبضةٍ قلبيةٍ تشتملُ على الموجاتِ PQRST.



يصدرُ عنْ كلِّ نبضةٍ صوتانِ مميَّزانِ، الصوتُ الأولُ «لوب» Lub، وهو منخفضُ النبرةِ وطويلٌ، يصدرُ عنِ انغلاقِ الصِّمامَينِ بينَ الأذينينِ والبطينينِ عندَ انقباضِ البطينينِ. أما الصوتُ الثاني «دوب» Dub فهو أقصرُ وأكثرُ حدَّةً، ويصدرُ عنِ انغلاقِ الصِّمامَينِ الرئويِّ والأبهريِّ عندَ انبساطِ البطينينِ. وفي حالِ إخفاقِ أحدِهما في الانغلاقِ الصحيحِ يتدفَّقُ الدمُ إلى الوراءِ، ويصدرُ صوتٌ مختلفٌ يسمّى *همهمةَ القلبِ Heart murmur*. يمكنُ للشخصِ الذي يشكو من خللٍ في العقدةِ الجيبِ-أذينيةِ أن يخضعَ لعمليَّةِ زرعِ صانعِ الخطوِ الصناعيِّ. كذلكَ يمكنُ لصانعِ الخطوِ الصناعيِّ أن يساندَ العقدةَ الأُذَينَ-بطينيَّةَ التي تشكو من خللٍ.

النبضُ Pulse سلسلةٌ من موجاتِ الضغطِ داخلَ شريانٍ سببُها انقباضاتُ البطَينِ الأيسرِ. فعندما ينقبضُ البطَينُ يتدفَّقُ الدمُ بقوَّةٍ عبرَ الشرايينِ، فتتمدَّدُ الجدرانُ المرنةُ لهذهِ الأوعيةِ الدمويَّةِ. إن الموقعَ الأكثرَ شيوعًا لقياسِ النبضِ هو الشريانُ الكُعبري، في باطنِ كلِّ معصمٍ من جهةِ الإبهامِ.



الشكل 2-4
لاحظْ طبقاتِ العضلةِ السميكةِ لأحدِ الشرايينِ. يفصلُ نسيجٌ مرنٌ بينَ طبقاتِ جدرانِ الشريانِ، ما يوفِّرُ القوَّةَ ويمنعُ ضغطَ الانقباضِ القلبيِّ من التسبُّبِ في انفجارِ الشريانِ.

الأوعيةُ الدمويَّةُ

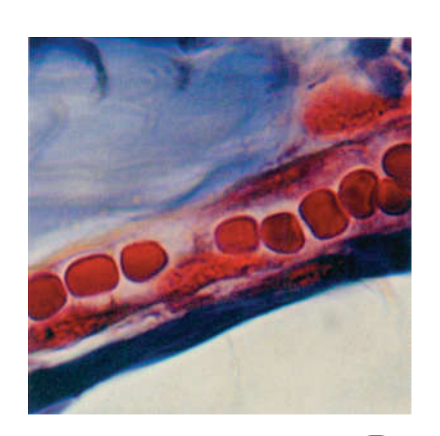
يُعرفُ الجهازُ الوعائيُّ القلبيُّ بأنهُ جهازٌ مغلقٌ، لأن الدمَ موجودٌ دائمًا إمّا في القلبِ وفي الأوعيةِ الدمويَّةِ وإما في أحدِهما. يختلفُ هذا النوعُ من الأجهزةِ عن الجهازِ المفتوحِ، الذي يغادرُ فيهِ الدمُ الأوعيةَ الدمويَّةَ، ويجري في أنسجةٍ عبرَ كاملِ أنحاءِ الجسمِ ثم يعودُ إليها، كما في الحيواناتِ المفصليَّةِ. تكوِّنُ الأوعيةُ الدمويَّةُ، وهيَ جزءٌ من الجهازِ الدوريِّ المغلقِ عندَ الإنسانِ، شبكةً واسعةً تساهمُ في استمرارِ تدفُّقِ الدمِ في اتِّجاهٍ واحدٍ فقط.

الشرايينُ وضغطُ الدمِ

الأوعيةُ الدمويةُ العضليَّةُ الكبرى التي تنقلُ الدمَ بعيدًا عن القلبِ تسمّى **الشرايينَ Arteries**. وكما في الشكلِ 2-4، تتضمَّنُ الجدرانُ السميكةُ للشرايينِ ثلاثَ طبقاتٍ هي: طبقةٌ داخليَّةٌ من الخلايا الطلائيَّةِ، وطبقةٌ وسطى من العضلاتِ الملساءِ، وطبقةٌ خارجيَّةٌ من النسيجِ الضامِّ. يوفِّرُ هذا التركيبُ، للشرايينِ القوةَ والمرونةَ معًا، ويسمحُ لها بأن تتمدَّدَ حينَ يدخلُها الدمُ المندفعُ بقوَّةٍ من القلبِ.

يؤدّي انقباضُ القلبِ إلى تدفُّقِ الدمِ ودفعِهِ عبرَ الشرايينِ بقوَّةٍ كبيرةٍ. تعرفُ القوَّةُ التي يؤثِّرُ بها الدمُ في الجدرانِ الداخليَّةِ لوعاءٍ دمويٍّ، باسمِ **ضغطِ الدمِ Blood pressure**. يبلغُ ضغطُ الدمِ أقصاهُ في الشريانَينِ الرئيسَينِ اللذَينِ يغادرانِ القلبَ. ويجري قياسُهُ عادةً في الشريانِ الذي يزوِّدُ الساعدَ بالدمِ. يصلُ ضغطُ الدمِ، مع انقباضِ البطينينِ لدى الشخصِ البالغِ السليمِ 120 ملم زئبقًا عند الذكورِ و 110 ملمتراتٍ زئبقًا عند الإناثِ، ويسمّى *الضغطَ الانقباضيَّ Systolic pressure*. ويصلُ ضغطُ الدمِ عندَ انبساطِ البطينينِ إلى 80 ملم زئبقًا عند الذكورِ و 70 ملم زئبقًا عند الإناثِ، ويسمّى *الضغطَ الانبساطيَّ Diastolic pressure*.

الشكل 2-5
قطرُ الشعيرةِ الدمويَّةِ صغيرٌ إلى درجةِ أن خلايا الدمِ الحمراءَ يجبُ أن تنتقلَ عبرَ الشعيراتِ الدمويَّةِ، في صفٍّ واحدٍ فقط، كما هو مبيَّنٌ في الصورةِ الفوتوغرافيَّةِ (1,200×). وتسهمُ جدرانُ الشعيراتِ الدمويَّةِ الدقيقةِ في تبادلِ الموادِّ الغذائيَّةِ والفضلاتِ بينَ الدمِ والخلايا.



يشكِّلُ **ضغطُ الدمِ المرتفعُ Hypertension**، في كثيرٍ من البلدانِ، سببًا رئيسًا للوفاةِ. فضغطُ الدمِ الذي يتعدّى الضغطَ العاديَّ، يؤثِّرُ بقوَّةٍ في جدرانِ الشرايينِ، ويزيدُ من فرصِ حدوثِ انفجارٍ في الوعاءِ الدمويِّ.

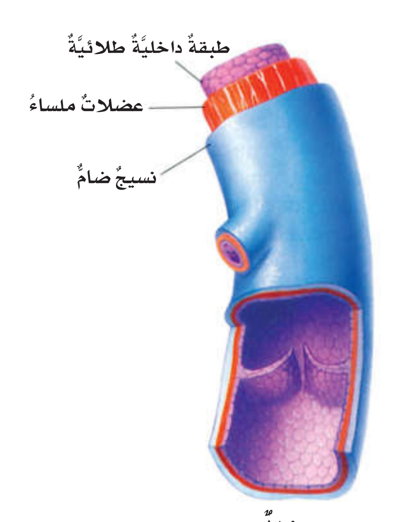
الشعيراتُ الدمويَّةُ والأوردةُ

تذكَّرْ أنهُ عندَ انقباضِ البطَينِ الأيسرِ يتدفَّقُ الدمُ بقوَّةٍ داخلَ الأبهرِ، وهو أكبرُ شرايينِ الجسمِ على الإطلاقِ. ينتقلُ الدمُ في الأبهرِ عبرَ شبكةٍ من شرايينَ أصغرَ حجمًا، وهذه تنقسمُ بدورِها إلى أوعيةٍ دمويَّةٍ أصغرَ تسمّى *الشريِّيناتِ Arterioles*. تتفرعُ الشُّرَيِّيناتُ إلى شبكةٍ من الأوعيةِ الدمويَّةِ الدقيقةِ تسمّى **الشعيراتِ الدمويَّةَ Blood capillaries**. يبيِّنُ الشكلُ 2-5، شعيرةً دمويَّةً.

إن شبكةَ الشعيراتِ الدمويَّةِ واسعةُ الانتشارِ، فكلُّ خلايا الجسمِ تقعُ بجوارِ شعيراتٍ دمويَّةٍ، ما يسمحُ بالتبادلِ السريعِ للموادِّ بينهما. تبلغُ سماكةُ جدرانِ الشعيراتِ الدمويَّةِ سماكةَ خليَّةٍ واحدةٍ فقط، ما يمكِّنُ من انتشارِ الغازاتِ والموادِّ الغذائيَّةِ عبرَها. وكلَّما كانَ تركيزُ الأكسجينِ أو الموادِّ الغذائيَّةِ في الدمِ أعلى مما هو عليهِ في الخلايا المحيطةِ، تنتشرُ المادَّةُ من الدمِ إلى الخلايا. وكلما كانَ تركيزُ ثاني أكسيدِ الكربونِ والفضلاتِ في الخلايا أعلى مما هو عليهِ في الدمِ، تنتشرُ تلكَ الموادُّ من الخلايا إلى الدمِ.

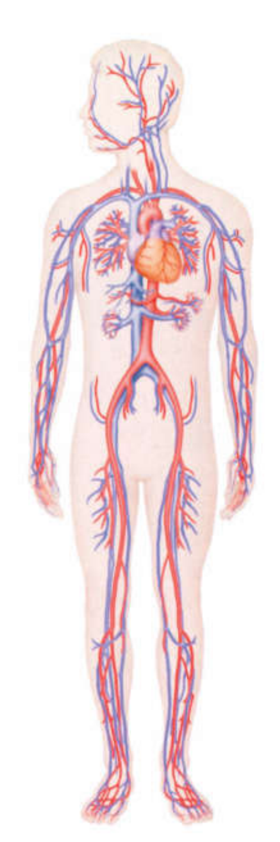
يتدفَّقُ الدمُ عبرَ الشعيراتِ الدمويَّةِ التي تتَّحدُ لتشكِّلَ أوعيةً دمويَّةً أكبرَ حجمًا تسمّى *الوُرَيداتِ Venules*. وبدورِها تتَّحدُ عدةُ وُرَيداتٍ لتشكِّلَ **وريدًا Vein**، والوريدُ وعاءٌ دمويٌّ كبيرٌ ينقلُ الدمَ إلى القلبِ. تتَّحدُ الأوردةُ التي تعيدُ الدمَ الفقيرَ بالأكسجينِ من الأجزاءِ السفليَّةِ للجسمِ، لتشكِّلَ *الوريدَ الأجوفَ السفليَّ Inferior vena cava*. أما الأوردةُ التي تعيدُ الدمَ الفقيرَ بالأكسجينِ من الأجزاءِ العلويَّةِ للجسمِ، فتتَّحدُ لتشكِّلَ *الوريدَ الأجوفَ العلويَّ Superior vena cava*، الشكل 2-2.

ترى في الشكلِ 2-6، أن جدرانَ الأوردةِ، كجدرانِ الشرايينِ، مكوَّنةٌ من ثلاثِ طبقاتٍ، إلا أنها أقلُّ سمكًا، وتحتوي على كمّيَّةٍ أقلَّ من العضلاتِ الملساءِ. حينَ يصلُ الدمُ إلى الأوردةِ، يكونُ ضغطُ الدمِ فيها أقلَّ مما هو عليهِ في الشرايينِ. وقد يسبِّبُ تدفُّقَ الدمِ إلى الوراءِ، اضطرابًا في نمطِ حركةِ الدمِ. ولمنعِ حدوثِ ذلك، توجدُ في الأوردةِ صِماماتٌ تساهمُ في إبقاءِ حركةِ الدمِ في اتِّجاهٍ واحدٍ. يبيِّنُ الشكلُ 2-6 تركيبَ صِمامٍ في وريدٍ.



الشكل 2-6

الوريدُ، كالشريانِ، يتضمَّنُ ثلاثَ طبقاتٍ: طبقةً داخليَّةً من الخلايا الطلائيَّةِ، وطبقةً وسطى من العضلاتِ الملساءِ، وطبقةً خارجيَّةً من النسيجِ الضامِّ.



الشكل 2-7

ينقلُ الجهازُ الوعائيُّ القلبيُّ الموادَّ عبرَ الجسمِ.

دورةُ الدمِ

كان العالِمُ الإنجليزيُّ وليَم هارفي William Harvey (1578-1657) أولَ من بيَّنَ أن القلبَ والأوعيةَ الدمويَّةَ تشكِّلُ جهازًا واحدًا متواصلاً ومغلقًا لدورانِ الدمِ، الشكل 2-7. وقد توصّلَ منطقيًّا إلى أن هذا الجهازَ مكوَّنٌ من جهازَينِ أصغرَ منهُ، هما **الدورةُ الرئويَّةُ Pulmonary circulation** التي ينتقلُ خلالَها الدمُ بينَ القلبِ

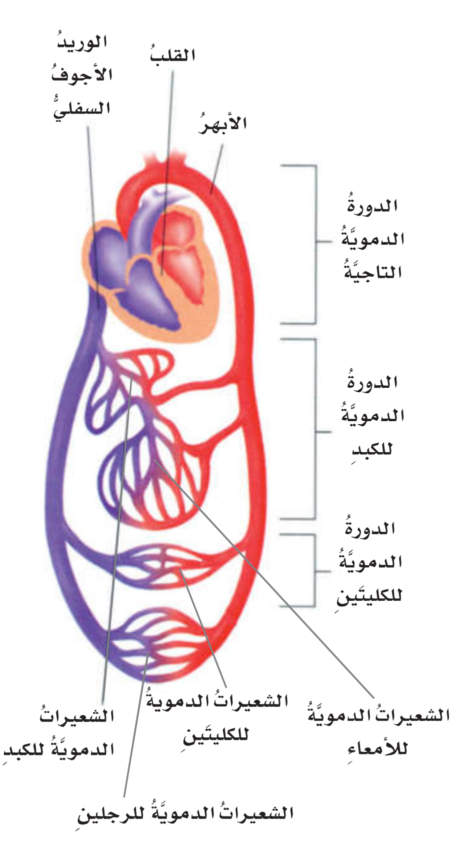
الشكل 2-8
في الدورةِ الرئويَّةِ يتدفَّقُ الدمُ بين القلبِ والرئتين.

والرئتينِ- **والدورةُ الجهازيَّةُ Systemic circulation** التي ينتقلُ خلالَها الدمُ ما بينَ القلبِ وكلِّ أنسجةِ الجسمِ الأخرى.

الدورةُ الرئويَّةُ

يدخلُ الدمُ الفقيرُ بالأكسجين، العائدُ من جميعِ أجزاءِ الجسمِ باستثناءِ الرئتين، إلى الأذينِ الأيمنِ، حيثُ يُضخُّ إلى البطينِ الأيمنِ. وعندما ينقبضُ البطينُ الأيمنُ، ينتقلُ الدمُ الفقيرُ بالأكسجين إلى الشريانِ الرئويِّ ومنهُ إلى الرئتين. إن الشريانَ الرئويَّ هو الشريانُ الوحيدُ الذي ينقلُ الدمَ الفقيرَ بالأكسجين. وهو يتفرَّعُ إلى شريانَين أصغرَ حجمًا، لكلٍّ من الرئتَين واحدٌ. يتفرعُ هذانِ الشريانانِ بدورِهما إلى شُرَيِّناتٍ، ثمَّ إلى شعيراتٍ دمويَّةٍ داخلَ الرئتَين.

في الرئتين، ينتشرُ ثاني أكسيدِ الكربونِ إلى خارجِ الشعيراتِ الدمويَّةِ، وينتشرُ الأكسجينَ إلى داخلِ الشعيراتِ الدمويَّةِ. عندها يتدفقُ الدمُ الغنيُّ بالأكسجين داخلَ وريداتٍ تتَّحدُ لتشكِّلَ *أوردةً رئويَّةً Pulmonary veins* تعودُ إلى الأذينِ الأيسرِ للقلبِ. ومن الأذينِ الأيسرِ يجري ضخُّ الدمِ إلى البطينِ الأيسرِ، ثم إلى الأبهرِ. تتبَّعْ في الشكل 2-8 مسارَ الدمِ أثناءَ الدورةِ الرئويَّةِ.



الشكل 2-9
في الدورةِ الجهازيَّةِ يتدفَّقُ الدمُ بينَ القلبِ والجسمِ.

الدورةُ الجهازيَّةُ

الدورةُ الجهازيَّةُ هي حركةُ انتقالِ الدمِ بين القلبِ وجميعِ أجزاءِ الجسمِ، باستثناءِ الرئتينِ. تتبَّعْ مسارَ الدمِ خلالَ الدورةِ الجهازيَّةِ في الشكل 2-9. يُضَخُّ الدمُ الغنيُّ بالأكسجينِ من البُطينِ الأيسرِ إلى الشريانِ الأبهرِ. يتفرَّعُ الشريانُ الأبهرُ إلى شرايينَ كبيرةٍ وشرَيِّيناتٍ تتوزَّعُ على جميعِ أقسامِ الجسمِ، وتنتهي بشعَيراتٍ دمويَّةٍ تحيطُ بخلايا أنسجةِ الجسمِ. يتمُّ تبادلُ الغازاتِ والموادِّ المذابةِ بين الخلايا والدمِ عن طريقِ الانتشارِ. ينتقلُ الأكسجينُ من الشعَيراتِ الدمويةِ إلى خلايا الأنسجةِ، بينما ينتقلُ ثاني أكسيدِ الكربونِ من الأنسجةِ إلى الشعَيراتِ الدمويَّةِ. عندها يتدفقُ الدمُ الفقيرُ بالأكسجين داخلَ وريداتٍ تندمجُ لتكوِّنَ أوردةً أكبرَ منها، إلى أن يبلغَ الأذينَ

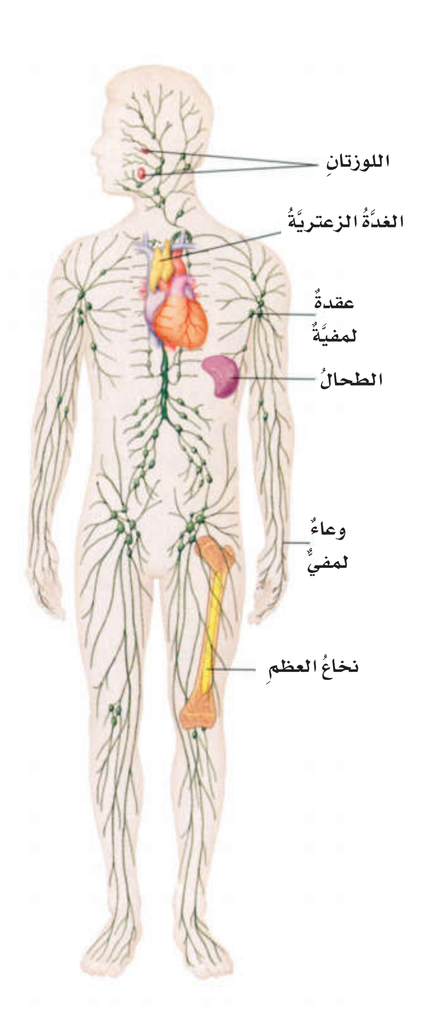
الأيمنَ. **الدورةُ التاجيَّةُ Coronary circulation** قسمٌ من الدورةِ الجهازيَّةِ يتمُّ خلالَها تزويدُ القلبِ نفسِهِ بالدمِ بواسطةِ *الشرايينِ التاجيَّةِ Coronary arteries*. في حالِ انخفاضِ تدفُّقِ الدمِ أو انعدامِهِ في الشرايينِ التاجيَّةِ تموتُ خلايا القلبِ العضليَّةِ. وقد يَنتجُ ذلكَ عن انسدادِ شريانٍ تاجيٍّ بجلطةٍ دمويَّةٍ أو عن **تصلُّبِ الشرايينِ Atherosclerosis**، وهو مرضٌ يتميَّزُ بتراكمِ الموادِّ الدهنيَّةِ عند الجدرانِ الداخليَّةِ للشرايينِ التاجيَّةِ. يؤدي انسدادُ تلكَ الشرايينِ إلى نوبةٍ قلبيَّةٍ. وهناك، بالإضافةِ إلى الدورةِ الدمويَّةِ التاجيَّةِ، الدورةُ الدمويَّةُ للكبدِ والدورةُ الدمويَّةُ للكليتيْنِ، هما أيضًا قسمانِ من الدورةِ الجهازيَّةِ، الشكل 2-9.

الجهازُ اللمفيُّ

يشتملُ الجهازُ الدوريُّ على الجهازِ الوعائيِّ القلبيِّ والجهازِ اللمفيِّ. إحدى وظائفِ الجهازِ اللمفيِّ إعادةُ السائلِ النسيجيِّ إلى الدمِ. فعندَ مرورِ الدمِ في الشعيراتِ الدمويَّةِ، وتحتَ تأثيرِ الضغطِ الشريانيِّ، يرشحُ من الشعيراتِ الماءُ والموادُّ المذابةُ إلى الأنسجةِ المحيطةِ. هذا السائلُ النسيجيُّ الخالي من البروتيناتِ يدخلُ إلى الشعيراتِ اللمفيَّةِ حيثُ يسمّى **اللمفَ Lymph**. تلتقي الشعيراتُ اللمفيَّةُ بعضُها مع بعضٍ لتشكِّلَ أوعيةً أكبرَ هي الأوعيةُ اللمفيَّةُ التي تنقلُ اللمفَ إلى القلبِ عبرَ الوريدِ الأجوفِ العلويِّ.

أثناءَ انتقالِ اللمفِ في الأوعيةِ اللمفيَّةِ، متَّجهًا إلى القلبِ، يمرُّ عبرَ أعضاءٍ صغيرةٍ تسمّى *العُقَدَ اللمفيَّةَ Lymph nodes*، الشكل 2-10. تنقّي العقدُ اللمفَ بأن تحتجزَ منه الدقائقَ الغريبةَ والكائناتِ الحيَّةَ المجهريَّةَ. كما أنها تخزنُ الخلايا اللمفيَّةَ، وهي خلايا دمٍ بيضاءُ متخصِّصةٌ في مقاومةِ الأمراضِ. تلتهبُ العقدُ اللمفيَّةُ عندَ الإصابةِ بمرضٍ معيَّنٍ فتنتفخُ بسببِ تزايدِ عددِ الخلايا اللمفيَّةِ فيها.

وخلافًا للأوعيةِ الدمويَّةِ، التي تنقلُ الدمَ من القلبِ إلى جميعِ أقسامِ الجسمِ وتعيدُهُ إلى القلبِ، تنقلُ الأوعيةُ اللمفيَّةُ الأحاديَّةُ الاتِّجاهِ اللمفَ من الأنسجةِ إلى القلبِ فحسب. تشبهُ الشعيراتُ اللمفيَّةُ في تركيبِها الشعيراتِ الدمويَّةَ. كذلكَ تشبهُ الأوعيةُ اللمفيَّةُ في تركيبِها الأوردةَ الدمويَّةَ، وهي أيضًا تحتوي على الصِّماماتِ التي تمنعُ اللمفَ من العودةِ إلى الوراءِ.



الشكل 2-10
يشكِّلُ الجهازُ اللمفيُّ، على غرارِ الجهازِ الوعائيِّ القلبيِّ، شبكةً واسعةً من الأوعيةِ. يوجدُ في مناطقَ محدَّدةٍ من هذهِ الشبكةِ عقدٌ لمفيَّةٌ تحتوي على بعضِ خلايا جهازِ المناعةِ التي تقاومُ الأمراضَ.

مراجعةُ القسمِ 2-1

1. صفْ تركيبَ القلبِ.
2. تتبَّعْ مسارَ الدمِ عبرَ القلبِ والجسمِ، بدءًا بالوريدِ الأجوفِ العلويِّ.
3. وضِّح عمليَّةَ تنظيمِ نبضاتِ القلبِ.
4. وضِّح التلاؤمَ القائمَ بينَ تركيباتِ الشرايينِ والأوردةِ والشعيراتِ الدمويَّةِ وبينَ وظائفِها.
5. قارنْ بينَ تركيزِ الأكسجينِ في الدمِ خلالَ الدورةِ الرئويَّةِ وبينَ تركيزِهِ خلالَ الدورةِ الجهازيَّةِ.
6. وضِّحْ كيفَ يعملُ الجهازُ اللمفيُّ مع الجهازِ الوعائيِّ القلبيِّ.

تفكيرٌ ناقدٌ

7. وُلِدَ بعضُ الأطفالِ بحاجزٍ قلبيٍّ مثقوبٍ بينَ الأذينينِ. بالاستنادِ إلى ما تعرفُهُ حولَ كيفيَّةِ تدفُّقِ الدمِ داخلَ القلبِ، وضِّحِ الضررَ الذي ستلحقُهُ هذهِ الحالةُ بالطفلِ.
8. جُرِحَ ساعدُ رجُلٍ بقطعةٍ زجاجيَّةٍ، فتدفَّقَ الدمُ من الجرحِ بشكلٍ مفاجئٍ ومتقطعٍ. ما نوعُ الوعاءِ الدمويِّ الذي قُطِعَ؟

القســـم

2-2

النواتج التعليمية

▲ يوضحُ مكوِّناتِ الدم.

● يميِّزُ، من حيثُ التركيبُ والوظيفةُ، بينَ خلايا الدمِ الحمراءِ وخلايا الدمِ البيضاءِ والصفائحِ الدمويَّة.

■ يلخّصُ عمليَّةَ تجلُّطِ الدمِ.

◆ يوضحُ شروطَ ملاءمةِ فصائلِ الدمِ لعمليَّةِ نقلِ الدمِ.

الدمُ

الدمُ نسيجٌ ضامٌّ سائلٌ، ينقلُ الموادَّ الغذائيَّةَ والأكسجينَ إلى الخلايا. وينقلُ ثانيَ أكسيدِ الكربونِ والفضلاتِ بعيدًا عن الخلايا. كذلكَ ينقلُ الدمُ الحرارةَ إلى سطحِ الجسمِ. ولهُ دورٌ رئيسٌ في الدفاعِ عن الجسمِ وحمايتِه من الأمراضِ.

مكوِّناتُ الدمِ

يتكوَّنُ الدمُ من جزءٍ سائلٍ هو البلازما (55% من حجمِ الدم) وجزءٍ آخرَ هو خلايا الدمِ الحمراءُ وخلايا الدمِ البيضاءُ والصفائحُ الدمويَّةُ (45% من حجمِ الدمِ). يحتوي جسمُ الإنسانِ البالغِ السليمِ على 4 لتراتٍ إلى 5 لتراتٍ من الدمِ تقريبًا.

البلازما

البلازما Plasma وسطٌ سائلٌ لزجٌ، أصفرُ اللونِ، يشكِّلُ الماءُ منهُ 90%. تحتوي البلازما على موادَّ أيضيَّةٍ وهرموناتٍ وموادَّ غذائيَّةٍ وأملاحٍ وبروتيناتٍ. فالموادُّ الغذائيَّةُ المذابةُ في البلازما، والتي يتمُّ امتصاصُها عبرَ الجهازِ الهضميِّ، تتضمَّنُ الفيتاميناتِ والأحماضَ الأمينيَّةَ والكلوكوزَ والأملاحَ المعدنيَّةَ التي تنتقل إلى الخلايا.

تحملُ البلازما أنواعًا من البروتيناتِ مختلفةً وذاتَ وظائفَ مختلفةٍ. بعضُ البروتيناتِ أساسيٌّ في تكوينِ الجلطاتِ الدمويَّةِ. لكنَّ الألبومينَ بروتينٌ يساهمُ في تنظيمِ الضغطِ الأسموزيِّ بين البلازما وخلايا الدمِ، وبين البلازما والأنسجةِ. وهناكَ بروتيناتٌ أخرى، تسمّى الأجسامَ المضادَّةَ، تساعدُ الجسمَ على مقاومةِ المرضِ.

خلايا الدمِ الحمراءُ

تنقلُ **خلايا الدمِ الحمراءُ Red blood cells** أو **Erythrocytes**، المبيَّنةُ في الشكلِ 2-11، الأكسجينَ إلى الخلايا في جميعِ أنحاءِ الجسمِ. تتكوَّنُ خلايا الدمِ الحمراءُ في نخاعِ العظمِ الأحمرِ. وخلالَ العمليَّةِ التي تتكوَّنُ فيها خليةُ دمٍ حمراءُ يتمُّ بناءُ كميّاتٍ كبيرةٍ من البروتينِ الذي يحتوي على الحديدِ، والذي يسمّى **الهيموكلوبينَ Hemoglobin**، وتختفي النواةُ والعضيّاتُ. الهيموكلوبينُ هو الجزيءُ الذي ينقلُ الأكسجينَ، وينقلُ بدرجةٍ أقلَّ ثانيَ أكسيدِ الكربونِ. لا تستطيعُ خلايا الدمِ الحمراءُ الانقسامَ، لخلوِّها من النواةِ. وتبقى حيَّةً حواليَ 120 يومًا.

الشكل 2-11
لاحظْ أنَّ خليَّةَ الدمِ الحمراءَ الناضجةَ قُرصيَّةٌ ومقعَّرةُ الوجهَين، ومليئةٌ بالهيموكلوبينِ المحاطِ بالغشاءِ.



خلايا الدمِ البيضاءُ

تساهمُ **خلايا الدمِ البيضاءُ White blood cells**، أو **Leukocytes**، في الدفاعِ عن الجسمِ ضدَّ المرضِ. وهي تتكوَّنُ في نخاعِ العظمِ الأحمرِ، لكنْ لا بُدَّ لها، ليكتملَ نموُّها، من أن تنتقلَ إلى العقدِ اللمفيَّةِ، أو إلى اللوزتَينِ، أو إلى الغدَّةِ الزعتريَّةِ، أو إلى الطحالِ. خلايا الدمِ البيضاءُ أكبرُ حجمًا من خلايا الدمِ الحمراءِ، لكنَّها أقلُّ عددًا. يحتوي كلُّ ملِّيمترٍ مكعَّبٍ من الدمِ، عادةً، على ما يقربُ من أربعةِ ملايينِ خليَّةِ دمٍ حمراءَ، و 7,000 خليةِ دمٍ بيضاءَ. وبينما تفتقرُ خلايا الدمِ الحمراءُ إلى التنوُّعِ، تتَّصفُ خلايا الدمِ البيضاءُ بتنوُّعِها. وهي تستطيعُ أن تمرَّ عبرَ فتحاتٍ في جدرانِ الأوعيةِ الدمويَّةِ إلى السائلِ الموجودِ بينَ الخلايا، ما يتيحُ لها بلوغَ مكانِ الإصابةِ والمساهمةَ في تدميرِ الكائناتِ الحيَّةِ الدقيقةِ المهاجِمةِ.

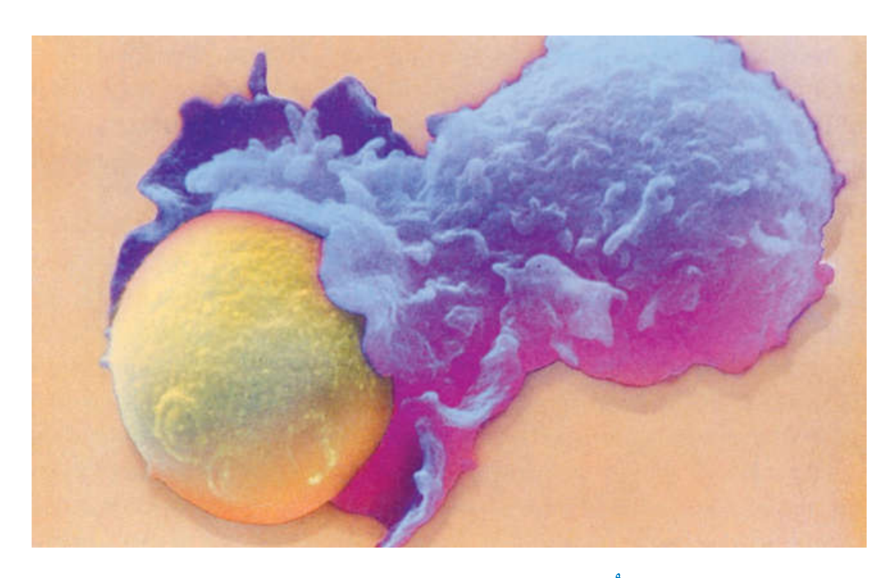
تعيشُ بعضُ خلايا الدمِ البيضاءُ فترةً طويلةً تصلُ إلى عدَّةِ سنواتٍ. من أنواعِ خلايا الدمِ البيضاءِ **الخليَّةُ البلعميَّةُ Phagocyte**، المبيَّنةُ في الشكل 2-12. تبتلعُ الخلايا البلعميَّةُ كائناتٍ حيَّةً دقيقةً مهاجِمةً. وهناكَ نوعٌ آخرُ من خلايا الدمِ البيضاءِ يُنتِجُ **الأجسامَ المضادَّةَ Antibodies**. فالأجسامُ المضادَّةُ بروتيناتٌ تُساهمُ في تدميرِ موادَّ غريبةٍ تدخلُ الجسمَ وتسبِّبُ الأمراضَ البكتيريَّةَ والفيروسيَّةَ. عندَ الإصابةِ يزدادُ عددُ خلايا الدمِ البيضاءِ وقد يتضاعفُ.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

خليةٌ دم بيضاءُ

leukocyte

من اللاتينيَّةِ leuco، ومعناها «الأبيض»، و cyte ومعناها «الخليَّة»



الشكل 2-12



بعضُ خلايا الدمِ البيضاءِ، كالخليَّةِ البلعميَّةِ الظاهرةِ باللونِ الأزرقِ، تبتلعُ الكائناتِ الحيَّةَ الدقيقةَ المُهاجِمةَ وتدمِّرُها.

الصفائحُ الدمويَّةُ

الصفائحُ الدمويَّةُ Platelets ليسَت خلايا كاملةً، بل هي أجزاءٌ من خلايا كبيرةٍ جدًّا تنشأُ في نخاعِ العظمِ، وتفتقرُ إلى الأنويةِ، الشكل 2-13 أ. تعيشُ الصفائحُ الدمويَّةُ بين 7 أيامٍ و 12 يومًا. وقد يحتوي الملِّيمترُ المكعَّبُ من الدمِ ما يقاربُ نصفَ مليونٍ من الصفائحِ الدمويَّةِ. والصفائحُ الدمويَّةُ ضروريَّةٌ لتكوُّنِ تجلُّطاتِ الدمِ. إن جلطةَ الدمِ كتلةٌ من الألياف المتشابكةِ والخلايا الدمويَّةِ المختلِطةِ بها، وهي تحولُ دونَ الفقدِ المفرطِ للدمِ من خلالِ الجروحِ.

الشكل 13-2

الصفائحُ غيرُ النشطة، أمثالُ الجسم الملوَّن بالأصفر، (أ) تبدو على شكل أطباقٍ صغيرة. الصفائحُ ليسَ لها لونٌ وهي تحتوي على موادَّ كيميائيَّة تسهمُ في تجلُّط الدم. (ب) تُغيِّرُ الصفائحُ شكلَها خلالَ عمليَّة التجلُّط. وعندَ تنشيطِها تستقرُّ وتنتشرُ على المادَّة المتفاعلة.

(أ)

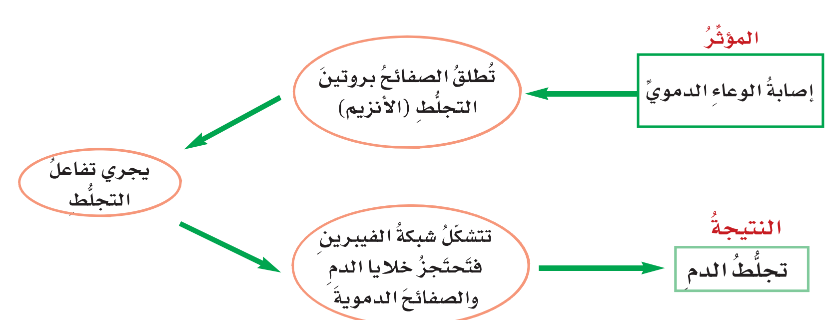


(ب)



عندما يتمزَّقُ وعاءٌ دمويٌّ، تتكتَّلُ الصفائحُ الدمويَّةُ في مكانِ التمزُّق، فتلتصقُ وتشكِّلُ سدادةً صغيرةً. يضيقُ الوعاءُ الدمويُّ فيبطؤُ تدفُّقُ الدم في المنطقة. عندئذٍ تبدأُ سلسلةٌ من التفاعلاتِ الكيميائيَّةِ تؤدّي إلى إنتاجِ بروتينٍ يسمّى **الفيبرين Fibrin**. تتكوّنُ جزيئاتُ الفيبرين من سلاسلَ طويلةٍ لزجة. وكما ترى في الشكل 2-14، تُشكِّلُ تلكَ السلاسلُ شبكةً تحتجزُ خلايا الدمِ الحمراءَ، وتتصلَّبُ كتلةُ الفيبرين وخلايا الدم الحمراءُ، لتصبحَ جلطةً أو قشرةً توقفُ النزفَ.

ومرضُ نزفِ الدم خللٌ سببُهُ نقصُ بروتينٍ أو أكثرَ من البروتيناتِ المطلوبةِ لتجلُّطِ الدم. عندَ إصابةِ شخصٍ يشكو من نزفِ الدم، يتواصلُ النزفُ الدمويُّ لفترةٍ أطولَ بكثيرٍ ممّا يحدثُ عندَ الفردِ السليم. تشكِّلُ الجروحُ الكبيرةُ أو الداخليَّةُ تهديدًا للحياة. حاليًّا يعالَجُ الأشخاصُ الذينَ يشكونَ من نزفِ الدمِ بحقنِ بروتيناتِ التجلُّطِ التي يفتقرونَ إليها.



الشكل 14-2

تحرِّرُ الصفائحُ الدمويَّةُ، في موقع الوعاءِ الدمويِّ المصاب، أنزيمات تُنَبِّهُ مجموعةَ تفاعلات كيميائيَّةٍ متتابعة لعمليَّة التجلُّط.

فصائلُ الدمِ

تتحدَّدُ **فصيلةُ الدم Blood type** بالاستنادِ إلى مولِّدِ الضدِّ الموجودِ على سطحِ خليَّةِ الدمِ الحمراءِ. **مولِّدُ الضدِّ Antigen** مادةٌ تنبِّهُ الجسمَ ليُنتِجَ أجسامًا مضادَّةً لها. لا تنبِّهُ مولِّداتُ الضدِّ الموجودةُ طبيعيًّا في الجسمِ أيَّ استجابةٍ. لكن متى دخلتْ

صلةٌ بالبيئةِ

الخفّاشُ مصّاصُ الدماءِ، يُساهمُ في إنقاذِ ضحايا السكتاتِ الدماغية Stroke

في لُعابِ الخُفّاش مصّاص الدماءِ مادةٌ مضادَّةٌ للتجلُّطِ تمنعُ حدوثَ التجلُّطِ عندما يتدفَّقُ الدمُ من الجرح. عام 1995، جرى عزلُ هذا الأنزيم، وأُطلقَ عليهِ اسمُ دراكولين *Draculin*.

استندَ الباحثونَ إلى ذلكَ الأنزيم، وصنعوا مذيبًا للجلطةِ هوَ *Desmodus rotundus salivary plasminogen activator* (DSPA). يستهدفُ DSPA الفيبرينَ ويدمِّرُهُ. ولا بُدَّ من إعطاءِ العلاجِ المتَّبعِ خلالَ الساعاتِ الثلاثِ الأولى من حدوثِ السكتةِ الدماغية، التي يصحبُها فَقْدٌ مفاجئٌ للإدراكِ والوعي، أو حدوثُ شللٍ نتيجةَ انقطاعِ تدفُّقِ الدم إلى الدماغ، ما يؤدّي إلى موتِ بعضِ خلايا الدماغِ أو تلفِهِ. تفيدُ الأبحاثُ أنَّ DSPA قد يكونُ علاجًا آمنًا لفتراتٍ زمنيَّةٍ طويلةٍ، وليسَ لهُ، كما يبدو، آثارٌ سلبيَّةٌ على خلايا الدماغِ.

مولِّداتُ ضدٍّ غريبةٌ إلى الجسمِ، تستجيبُ الخلايا بإنتاجِ أجسامٍ مضادَّةٍ.

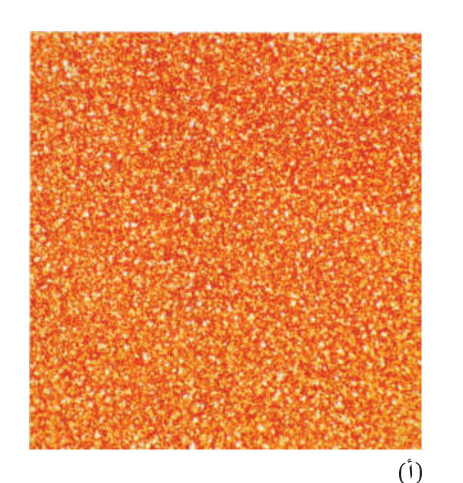
في أوائلِ القرنِ العشرينَ، استخدمَ كارل لاندشتاينر Karl Landsteiner دماءً مسحوبةً من العاملينَ في مختبرِهِ، وأجرى عليها ملاحظاتٍ كالملاحظاتِ الموجودةِ في الشكلِ 2-15. لفتَ انتباهَهُ أن مزجَ دمٍ من شخصَيْنِ، كانَ أحيانًا يؤدّي إلى تخثُّرِ *Agglutinating* خلايا الدمِ الحمراءِ. فعندما تُمزَجُ عيّناتٌ من فصيلتَينِ مختلفتَينِ من الدمِ، تحدثُ تفاعلاتٌ بين مولِّداتِ الضدِّ في خلايا الدمِ الحمراءِ والأجسامِ المضادَّةِ في البلازما، ما يجعلُ الخلايا تتخثَّرُ.

قادتِ الملاحظاتُ التي أجراها لاندشتاينر إلى تصنيفِ الدمِ في فصائلَ، بحسبِ مولِّداتِ الضدِّ التي تكونُ على أسطحِ خلايا الدمِ الحمراءِ. مولِّداتُ الضدِّ الأساسيَّةُ في دمِ الإنسانِ ثلاثةٌ هي: مولِّدُ الضدِّ A، ومولِّدُ الضدِّ B، ومولِّدُ الضدِّ Rh. يستندُ نظامُ A-B-O، لفصائلِ الدمِ، إلى مولِّدَيِ الضدِّ A و B.

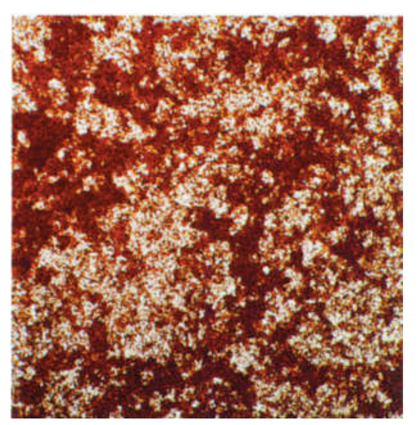
نظامُ A-B-O

نظامُ A-B-O أداةٌ لتصنيفِ فصائلِ الدمِ بالاستنادِ إلى وجودِ مولِّداتِ الضدِّ على أسطحِ خلايا الدمِ الحمراءِ، والأجسامِ المضادَّةِ في البلازما. يبيِّنُ الجدولُ 2-1، كيفَ أن خلايا الدمِ الحمراءَ في جسمِ إنسانٍ تحملُ واحدًا من مولِّدَيِ الضدِّ A و B، أو تحملُ مولِّدَيِ الضدِّ A و B معًا، أو لا تحملُ أيَّ مولِّدِ ضدٍّ. تُسمّى أنماطُ مولِّداتِ الضدِّ هذه فصائلَ الدمِ وهي A و B و AB و O، بالترتيبِ.

لاحظْ، في الجدولِ 2-1، أن الفردَ الذي تكونُ فصيلةُ دمِهِ A، لدَيْهِ جسمٌ مضادٌّ لـ B يتعارضُ مع فصيلةِ الدمِ B. فإذا أُعطيَ دمٌ من شخصٍ فصيلةُ دمِهِ B لشخصٍ فصيلةُ دمِهِ A، فإنَّ الأجسامَ المضادَّةَ لـ B عندَ الشخصِ المستقبلِ تتفاعلُ مع مولِّداتِ الضدِّ B الموجودةِ في خلايا الدمِ الحمراءِ للمعطي، فيحدثُ تخثُّرٌ لخلايا الدمِ الحمراءِ عند المستقبلِ. كما أن الأجسامَ المضادَّةَ لـ A الموجودةَ في دمِ المعطي ستتفاعلُ معَ مولِّدِ الضدِّ A في خلايا دمِ المستقبلِ. يؤدّي كلُّ ذلكَ إلى تخثُّرِ خلايا الدمِ الحمراءِ، والتسبُّبِ في إعاقةِ تدفُّقِ الدمِ عبرَ الأوعيةِ الدمويَّةِ. هذا يحتِّمُ أن يتوافقَ دمُ المعطي مع دمِ المستقبلِ. إن ذوي فصيلةِ الدمِ AB هم *مستقبلونَ عامّونَ Universal recepients*، أي إنهُم قادرونَ على استقبالِ جميعِ فصائلِ الدمِ A، B، AB و O، لعدمِ وجودِ الأجسامِ المضادَّةِ لـ A و B عندهم.



(أ)



(ب)

الشكل 2-15

لاحظْ عدمَ حدوثِ تخثُّرٍ لخلايا الدمِ في الشريحةِ المجهريَّةِ (أ)، حيث جرى مزجُ عيِّنَتَيْ دمٍ من فردَيْنِ لهما فصيلةُ الدمِ نفسُها. قارنْ هذا بالشريحةِ (ب)، حيثُ جرى مزجُ عيِّنَتَيْ دمٍ من فردَيْنِ لهما فصيلتا دمٍ مختلفتانِ.

الجدولُ 2-1 فصائلُ الدمِ ومولِّداتُ الضدِّ والأجسامُ المضادَّةُ

فصائلُ الدم	مولِّدُ الضدِّ في خلايا الدمِ الحمراءِ	الأجسامُ المضادَّةُ في البلازما	يستقبلُ	يعطي
A	A	أجسامٌ مضادَّةٌ لـ B	O، A	A، AB
B	B	أجسامٌ مضادّةٌ لـ A	O، B	B، AB
AB	A و B	لا شيءَ	A، B، AB، O	AB
O	لا شيءَ	أجسامٌ مضادّةٌ لـ A وأجسامٌ مضادّةٌ لـ B	O	A، B، AB، O

أما ذوو فصيلةِ الدمِ O، فهم معطُونَ عامُّونَ *Universal donors*، لأنهم قادرونَ على إعطاءِ دمٍ لأيِّ شخصٍ، سواءٌ أكانَتْ فصيلةُ دمِهِ A أم B أم AB أو O، لأن ذوي فصيلةِ الدمِ O ليسَ لديهِم أيٌّ من مولِّدَيِ الضدِّ A أو B.

النظامُ الريسيُّ

غالبًا ما يوجدُ على أسطحِ خلايا الدمِ الحمراءِ مولِّدُ ضدٍّ آخرُ يسمّى **العاملَ الريسيَّ Rh factor**، إشارةً إلى القردِ ريسي *Rhesus* الذي اكتُشِفَ عندَه هذا العاملُ لأوّلِ مرّةٍ. يُعرفُ الذين لديهم مولِّدُ الضدِّ الريسيُّ بأنهُم موجبو Rh^+ أمّا الذين يفتقرونَ إليهِ فسالبو Rh^-.

في حالِ استقبالِ شخصٍ سالبٍ Rh^- دمًا من شخصٍ موجبٍ Rh^+، يمكنُ أن تتفاعلَ الأجسامُ المضادَّةُ معَ مولِّدِ الضدِّ، وبالتالي يحدثُ تخثر (تلازن) agghutination خلايا الدم الحمراء التي تم تسلُّمها. ومن أكثرِ المشكلاتِ خطورةً مشكلةُ عدمِ توافقِ العاملِ Rh خلالَ مرحلةِ الحملِ عندَ المرأةِ. فإن كانتِ الأمُّ سالبةَ Rh^- والأبُ موجبَ Rh^+، فقد يرثُ الطفلُ الأليلَ Rh^+ من الأبِ ويكونُ الجنينُ عندَها موجبًا، لأن الأليلَ Rh^+ سائدٌ على الأليلِ Rh^-. وخلالَ الولادةِ قد يتسرَّبُ قليلٌ من دمِ الطفلِ Rh^+ إلى دمِ الأمِّ فيجعلُ دمَ الأمِّ ينتجُ أجسامًا مضادَّةً لمولِّدِ الضدِّ Rh. فإن حملتِ الأمُّ مرةً أخرى جنينًا موجبًا، فإن الأجسامَ المضادَّةَ تتسرَّبُ عبرَ المشيمةِ من الأمِّ إلى الطفلِ وتهاجمُ دمَهُ فتحلِّلُ خلايا دمِهِ الحمراءَ. تُسمّى هذهِ الحالةُ *تحلُّلَ خلايا الدمِ الحمراءِ الجنينية Erythroblastosis fetalis*، ما قد يؤدّي إلى موتِ الجنينِ. وإذا وُلِدَ الطفلُ حيًّا، فقد يحتاجُ فورًا إلى عمليةِ نقلِ دمٍ يتلقّى فيها دمًا موجبًا.

ولمنعِ حدوثِ مثلِ تلكَ الحالةِ، تُحقنُ الأمُّ السالبةُ، الحاملُ بطفلٍ موجبٍ، بأجسامٍ مضادَّةٍ لـ (Rh) لتدميرِ أيِّ خلايا دمٍ موجبةٍ يُحتملُ أن تكونَ قد تسرَّبتْ إلى دمِ الأمِّ من دمِ الجنينِ. بذلكَ تكتسبُ الأمُّ مناعةً ضدَّ مولِّدِ الضدِّ Rh قبلَ أن يُنتجَ جهازُ المناعةِ عندَها الأجسامَ المضادَّةَ.

مراجعةُ القسمِ 2-2

1. ما مكوِّناتُ الدمِ الأربعةُ الرئيسةُ؟
2. ما العلاقةُ بينَ التركيبِ والوظيفةِ في كلٍّ من خلايا الدمِ الحمراءِ وخلايا الدمِ البيضاءِ والصفائحِ الدمويَّةِ؟
3. وضِّحْ عمليَّةَ تجلُّطِ الدمِ.
4. ما العواملُ التي يُستنَدُ إليها في عمليّاتِ نقلِ الدمِ بينَ فصائلِ الدمِ المختلفةِ؟
5. ما فصائلُ الدمِ، التي يمكنُ إعطاؤها لشخصٍ فصيلةُ دمِهِ AB^- مع الأخذِ في الاعتبارِ مولِّداتِ الضدِّ لـ O، B، A، و Rh.

تفكيرٌ ناقدٌ

6. نزفُ الدمِ خللٌ سببُه فشلُ إحدى خطواتِ تكوُّنِ الجلطةِ الدمويَّةِ. ما الإيجابيَّةُ والسلبيَّةُ المحتمَلتانِ لهذا الخللِ؟
7. لماذا يجبُ معرفةُ فصيلتَيْ دمِ المرأةِ الحاملِ ودمِ زوجِها؟

بنكُ الدمِ

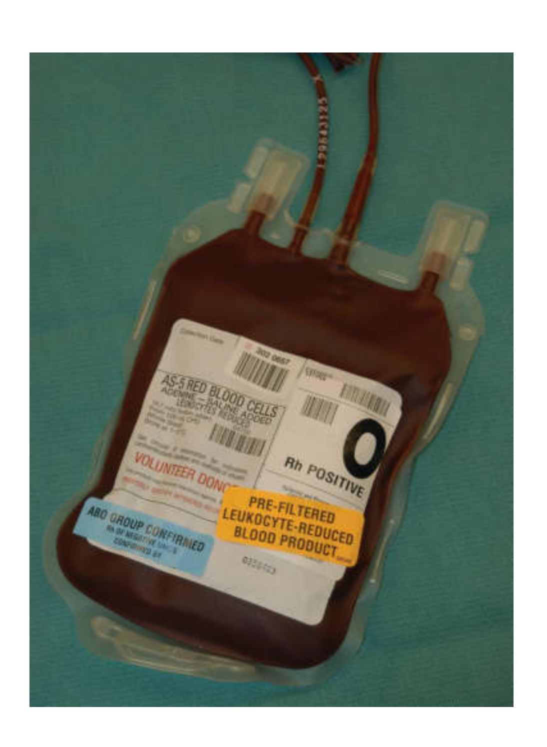
كلَّ ثلاثِ دقائقَ يحتاجُ شخصٌ واحدٌ، إلى عمليَّةِ نقلٍ للدمِ، يتمُّ خلالَها إدخالُ الدمِ أو البلازما أو المحلولِ الملحيِّ إلى الجسمِ. يُستخدمُ الدمُ في معالجةِ ضحايا الحوادثِ، والحروقِ، ومرضى السرطانِ، والمرضى الذينَ يخضعونَ لعمليّاتٍ جراحيَّةٍ ومعالجاتٍ طبيَّةٍ متنوِّعةٍ. يُعدُّ ابتكارُ تقنيّاتِ نقلِ الدمِ الآمنةِ، إنجازًا مهمًّا في مجالِ الطبِّ الحديثِ.

عندما يفقدُ الإنسانُ أكثرَ من 40% من دمِهِ خلالَ فترةٍ قصيرةٍ، فإن جسمَهُ لا يستطيعُ أن يعوِّضَ هذا النقصَ دون مساعدةٍ خارجيَّةٍ، ولا بدَّ في هذه الحالةِ من عمليَّةِ نقلِ دمٍ من شخصٍ آخرَ يكونُ دمُهُ مناسبًا لدمِ المنقولِ إليهِ، وأن يكونَ خاليًا من مُسبِّباتِ الأمراضِ، كالإيدزِ والملاريا وداءِ الكبدِ الوبائيِّ.

ولتنظيمِ عمليّاتِ نقلِ الدمِ وتوفيرِ كميّاتٍ مناسبةٍ من الدمِ في الوقتِ المناسبِ، قامتِ الحكومةُ بإنشاءِ بنوكِ الدمِ في المستشفياتِ التي تقومُ بأخذِ الدمِ من المتبرِّعينَ بعد فحصِهم بعنايةٍ يُجمَعُ الدمُ في أوعيةٍ زجاجيَّةٍ أو بلاستيكيَّةٍ طُليت جدرانُها الداخليَّةُ بالبارفينِ أو السيلكونِ الذي يعيقُ تجلُّطَ الدمِ، ويضافُ إلى تلكَ الأوعيةِ سِتْراتُ الصوديوم. وتُخزنُ تلك الأوعيةُ في ثلاّجاتٍ بدرجةِ 4°C لاستخدامِها خلالَ شهرٍ. يؤخذُ عادةً من المُتبرِّعِ بين 300 cm^3 و 400 من الدمِ مرّةً واحدةً أو مرّتينِ في السنةِ من الأفرادِ الذين تتراوحُ أعمارُهم بين 18 و 55 سنة.

وللتبرُّعِ بالدمِ فوائدُ منها: حثُّ نخاعِ العظامِ على تكوينِ خلايا دمويَّةٍ جديدةٍ، ما يُكسبُه النشاطَ والحيويَّةَ. واعلمْ أن التبرُّعَ بالدمِ واجبٌ إنسانيٌّ ودينيٌّ، فيجبُ عليكَ أن تتبرَّعَ بشيءٍ من دمِك ولو في كلِّ عامٍ مرّةً.





القســـم

3-2

النواتج التعليمية

▲ يميِّزُ بينَ التنفُّسِ الخارجيِّ والتنفُّسِ الداخليِّ.

● يتتبَّعُ مسارَ الهواءِ من الجوِّ إلى الدم.

■ يوضحُ كيفيَّةَ تبادلِ الغازاتِ في الرئتين ونقلِها في الدمِ.

◆ يلخِّصُ دورَ العظامِ والعضلاتِ خلالَ عمليَّةِ التنفُّسِ.

▲ يصفُ كيفيَّةَ التحكُّمِ في معدَّلِ التنفُّسِ.

الجهازُ التنفُّسيُّ

ينقلُ الدمُ الأكسجينَ من الرئتَينِ إلى الخلايا. كما ينقلُ ثانيَ أكسيدِ الكربونِ من الخلايا إلى الرئتَينِ. وظيفةُ **الجهازِ التنفُّسيِّ Respiratory system** هي تبادلُ الغازاتِ مع الجهازِ الوعائيِّ القلبيِّ والأنسجةِ.

التنفُّسُ

وظيفةُ الجهازِ التنفُّسيِّ هي التنفُّسُ الخارجيُّ والتنفُّسُ الداخليُّ. **التنفُسُ الخارجيُّ External respiration** هو تبادلُ الغازاتِ بينَ الجوِّ الخارجيِّ والدم. أما **التنفُّسُ الداخليُّ Internal respiration** فهو تبادلُ الغازاتِ بين الدمِ وخلايا الجسم. عندما يصلُ الأكسجينُ إلى الخلايا فإنها تستخدمُهُ لتفكيكِ الجلوكوزِ ولبناءِ ATP عبرَ عمليةِ التنفُّسِ الهوائيِّ. لكن في غيابِ الأكسجينِ لا يستطيعُ الجسمُ الحصولَ على الطاقةِ الكافيةِ ليبقى حيًّا. أما فائضُ ثاني أكسيدِ الكربونِ، الذي ينتجُ عن التنفُّسِ الهوائيِّ، فإنهُ سامٌّ للخلايا، وهي تطرحُهُ عن طريقِ التنفُّسِ الداخليِّ.

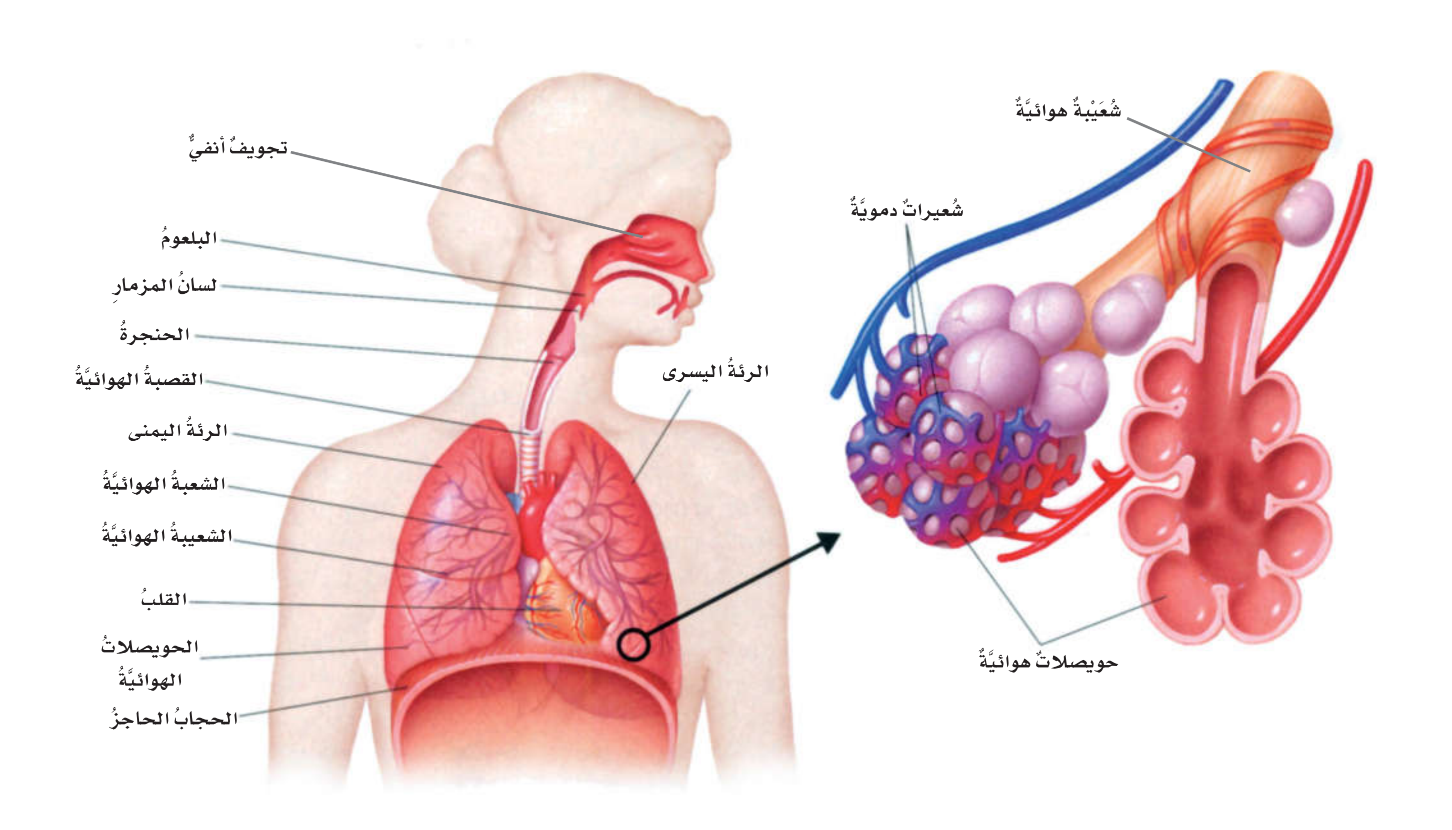
الرئتانِ

الرئتانِ Lungs هما موقعُ تبادلِ الغازاتِ بين الجوِّ الخارجيِّ والدمِ. لاحظْ، في الشكل 2-16، أنَّ للرئةِ اليمنى ثلاثةَ أقسامٍ أو فصوصٍ، وهي أثقلُ بقليلٍ من الرئةِ اليسرى ذاتِ الفصَّين. تقعُ الرئتانِ داخلَ التجويفِ الصدريِّ، وتحيطُ بهما الأضلاعُ والحجابُ الحاجزُ. يغلِّفُ الرئتين غشاءٌ مزدوجٌ يسمّى *البلورا Pleura*. يفرزُ هذا الغشاءُ سائلاً يخفِّفُ من الاحتكاكِ الناتجِ عن حركةِ الرئتَينِ أثناءَ التنفُّسِ.

مسارُ الهواءِ

لاحظِ الشكل 2-16، وتتبَّعْ مسارَ الهواءِ الذي ينتقلُ من الجوِّ الخارجيِّ إلى الشعيراتِ الدمويَّةِ للرئتَين. تبدأُ عمليَّةُ التنفُّسِ الخارجيِّ من الفمِ والأنفِ. تتمُّ تنقيةُ الهواءِ من الدقائقِ العالقةِ فيه بواسطةِ شعيراتِ الأنفِ، وتتمُّ تدفئةُ الهواءِ وترطيبُهُ بواسطةِ الأغشيةِ المخاطيَّةِ في تجويفِ الأنفِ.

بعدئذٍ ينتقلُ الهواءُ الرطبُ، الذي جرَتْ تنقيتُهُ، إلى **البلعوم Pharynx**، وهو أنبوبٌ يقعُ في آخرِ التجويفَينِ الأنفيَّيْنِ والفم. البلعومُ ممرٌّ مشتركٌ للطعامِ والهواءِ معًا. ينتقلُ الهواءُ من البلعومِ إلى **الحنجرة Larynx** التي تنثني فوقَها قطعةٌ غضروفيَّةٌ تسمّى **لسانَ المزمار Epiglottis** . فالطعامُ عندما نبلعُهُ يضغطُ لسانَ المزمارِ إلى الأسفلِ ويغطّي هذا فتحةَ ممرِّ الهواءِ، مانعًا دخولَ الطعامِ إلى الممراتِ الهوائيَّةِ. ويوجدُ عندَ أعلى الحنجرةِ الحبالُ الصوتيةُ أو الأوتارُ الصوتيَّةُ. عندَ خروجِ



الشكل 16-2
تتبَّع انتقالَ الهواءِ من الجوِّ الخارجيِّ إلى الرئتَين. في نهايةِ المسارِ، يصلُ الهواءُ إلى الحويصلاتِ الهوائيَّةِ، وهي الوحداتُ الوظيفيَّةُ للجهازِ التنفُّسيِّ، حيثُ تجري جميعُ عمليَّاتِ تبادلِ الغازاتِ بين الجهازِ التنفُّسيِّ والجهازِ الوعائيِّ القلبيِّ.

الهواءِ من الرئتينِ تهتزُّ الأوتارُ الصوتيَّةُ ويصدرُ الصوتُ. تختلفُ طبقةُ الصوتِ وقوتُهُ باختلافِ مقدارِ الشدِّ على الأوتارِ الصوتيَّةِ، ومقدارِ الهواءِ الذي يخرجُ عبرَها. ينتقلُ الهواءُ من الحنجرةِ ويعبرُ أنبوبًا غضروفيًّا يسمّى **القصبةَ الهوائيَّةَ Trachea**. يراوحُ طولُ القصبةِ الهوائيَّةِ بين 10 cm و 12 cm، وجدرانُها مغلَّفةٌ بخلايا هدبيَّةٍ تنقّي الهواءَ من الدقائقِ العالقةِ فيهِ، وتدفعُ الجزئيّاتِ والمادَّةَ المخاطيَّةَ نحوَ البلعومِ لإبعادِها عن الرئتَينِ.

تتفرّعُ القصبةُ الهوائيَّةُ إلى **شعبتَين هوائيَّتين Bronchi**، تدخلُ كلُّ واحدةٍ منها إلى رئةٍ. وتتكوّنُ جدرانُ الشعبتينِ الهوائيَّتين من عضلاتٍ ملساءَ وغضروفٍ. وهما مغلَّفتانِ بالأهدابِ وبمادَّةٍ مخاطيَّةٍ. وتتفرَّعُ كلُّ شعبةٍ هوائيَّةٍ إلى شُعَبٍ أصغرَ تسمّى **الشُّعَيْباتِ الهوائيَّةَ Bronchioles**، وهذه أيضًا تحتوي جدرانُها على عضلاتٍ ملساءَ مبطّنةٍ بأهدابٍ ومادَّةٍ مخاطيَّةٍ، إلا أنها تفتقرُ إلى الغضروفِ. وأخيرًا تنتهي الشعيباتُ الهوائيَّةُ بمجموعاتٍ من الأكياسِ الهوائيَّةِ الصغيرةِ جدًّا تسمّى **الحويصلاتِ الهوائيَّةَ Alveoli**. وتحيطُ بكلِّ حويصلةٍ هوائيَّةٍ شبكةٌ من الشعيراتِ الدمويَّةِ، الشكل 16-2. تجري جميعُ عمليّاتِ تبادلِ الغازاتِ في الرئتَينِ عند الحويصلاتِ الهوائيَّةِ. تحتوي الرئتانِ السليمتانِ على 300 مليونِ حويصلةٍ هوائيَّةٍ تقريبًا تبلغُ مساحتُها الإجماليَّةُ 70 مترًا مربَّعًا، أي ما يعادلُ 40 مرةً المساحةَ السطحيَّةَ للجلدِ. هذه المساحةُ السطحيَّةُ الكبيرةُ جدًّا للرئتينِ تيسِّرُ عمليَّةَ التبادلِ الغازيِّ.

تبادلُ الغازاتِ ونقلُها

يجري تبادلُ الغازاتِ، في الرئتَين، بينَ الحويصلاتِ الهوائيَّةِ والشُّعيراتِ الدمويَّةِ المحيطةِ بها. يمرُّ الأكسجينُ O_2 من الحويصلاتِ الهوائيَّةِ إلى الشعيراتِ الدمويَّةِ، وينتقلُ عبرَ الدمِ إلى جميعِ أجزاءِ الجسمِ، بينما يمرُّ ثاني أكسيدِ الكربونِ CO_2 من الشعيراتِ الدمويَّةِ إلى الحويصلاتِ الهوائيَّةِ، ثم يُطرَحُ خارجَ الجسمِ.

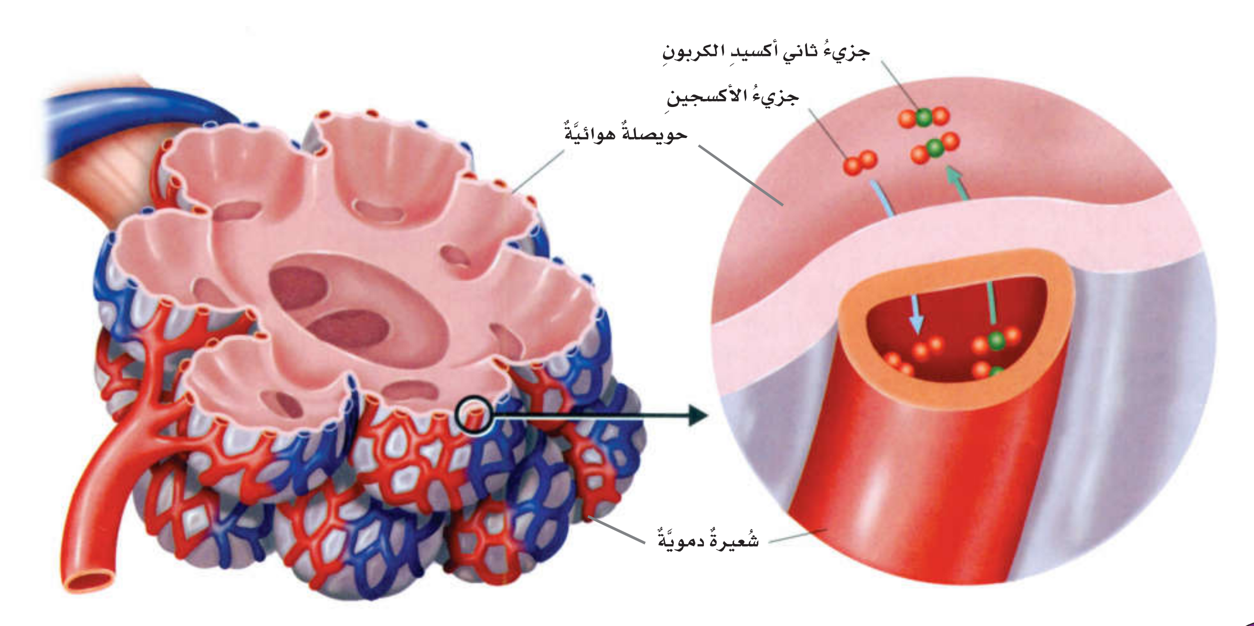
تبادلُ الغازاتِ في الرئتَيْنِ

يوضحُ الرسمُ التخطيطيُّ في الشكل 2-17 اتِّجاهَ حركةِ انتشارِ الأكسجينِ وثاني أكسيدِ الكربونِ عند الحويصلاتِ الهوائيَّةِ. يتميَّزُ الهواءُ الذي يدخلُ الحويصلاتِ الهوائيَّةَ بارتفاعِ تركيزِ الأكسجينِ وانخفاضِ تركيزِ ثاني أكسيدِ الكربونِ. أما الدمُ في الشعيراتِ الدمويَّةِ المحيطةِ بالحويصلاتِ الهوائيَّةِ، فيتميزُ بانخفاضِ تركيزِ الأكسجينِ وارتفاعِ تركيزِ ثاني أكسيدِ الكربونِ. وبما أن الموادَّ تنتشرُ من وسطٍ عالي التركيزِ إلى وسطٍ منخفضِ التركيزِ، فإنَّ الأكسجينَ ينتشرُ من الحويصلاتِ الهوائيَّةِ إلى الدمِ في الشعيراتِ الدمويَّةِ عبرَ جدرانِها الرقيقةِ، بينما ينتشرُ ثاني أكسيدِ الكربونِ في الاتجاهِ المعاكسِ، أي من الدمِ الذي في الشعيراتِ الدمويَّةِ إلى الحويصلاتِ الهوائيَّةِ.

نقلُ الأكسجينِ

عندما ينتشرُ الأكسجينُ في الدمِ، تبقى كمِّيَّةٌ ضئيلةٌ منهُ مذابةً في بلازما الدمِ، أما معظمُهُ، أي ما بينَ 95% و 98% منه، فينتقلُ إلى داخلِ خلايا الدمِ الحمراءِ، حيثُ يرتبطُ بالهيموكلوبين Hb، مُكوِّنًا مركّبًا سريعَ التفكُّكِ يسمّى *أُكسيهيموكلوبين* HbO_8 *Oxyhemoglobin*. يتضمّنُ كلُّ جزيءٍ من الهيموكلوبينِ بروتينًا وأربعَ ذرّاتٍ من الحديدِ. ترتبطُ كلُّ ذرَّةِ حديدٍ بجزيءٍ واحدٍ من الأكسجينِ. فيصبحُ في إمكانِ كلِّ جزيءٍ من الهيموكلوبينِ أن ينقلَ أربعةَ جزيئاتٍ من الأكسجينِ. (تحتوي كل خليّة دم حمراء على 250 مليونًا من جزيئات الهيموكلوبين).

الشكل 2-17
بسببِ منحدرِ التركيزِ، ينتشرُ كلٌّ من الأكسجين وثاني أكسيدِ الكربونِ عبرَ الجدرانِ الرقيقةِ للحويصلاتِ الهوائيَّةِ والشعيراتِ الدمويَّةِ.



يتفكَّكُ الأُكسيهيموكلوبين عندما يصلُ، عبرَ الدمِ إلى أنسجةِ الجسمِ التي يكونُ تركيزُ الأكسجينِ فيها أقلَّ ممّا هو عليهِ في الدمِ، ويتحرّرُ الأكسجينُ من الهيموكلوبين، ثم ينتشرُ من الشعيراتِ الدمويَّةِ إلى الخلايا المحيطةِ بها.

نقلُ ثاني أكسيدِ الكربونِ

بما أن تركيزَ ثاني أكسيدِ الكربونِ CO_2 يكونُ في الخلايا أعلى منه في الدمِ، فإنثانيَ أكسيدِ الكربونِ ينتشرُ من الخلايا إلى الدمِ. وتبقى نسبةُ 7% منه مذابةً في البلازما. وترتبطُ نسبةُ 23% تقريبًا بالهيموكلوبين. أما نسبةُ الـ 70% المتبقيَّةُ، فينقلُها الدمُ على صورةِ أيوناتِ البيكربوناتِ HCO_3^-. تبيِّنُ المعادلةُ التاليةُ تفاعلَ ثاني أكسيدِ الكربونِ CO_2 مع الماءِ في البلازما، ليشكِّلَ حمضَ الكربونيك H_2CO_3 الذي يتفكَّكُ إلى أيوناتِ البيكربوناتِ وأيوناتِ الهيدروجين H^+:

$$H_2O + CO_2 \leftrightarrows H_2CO_3 \leftrightarrows HCO_3^- + H^+$$

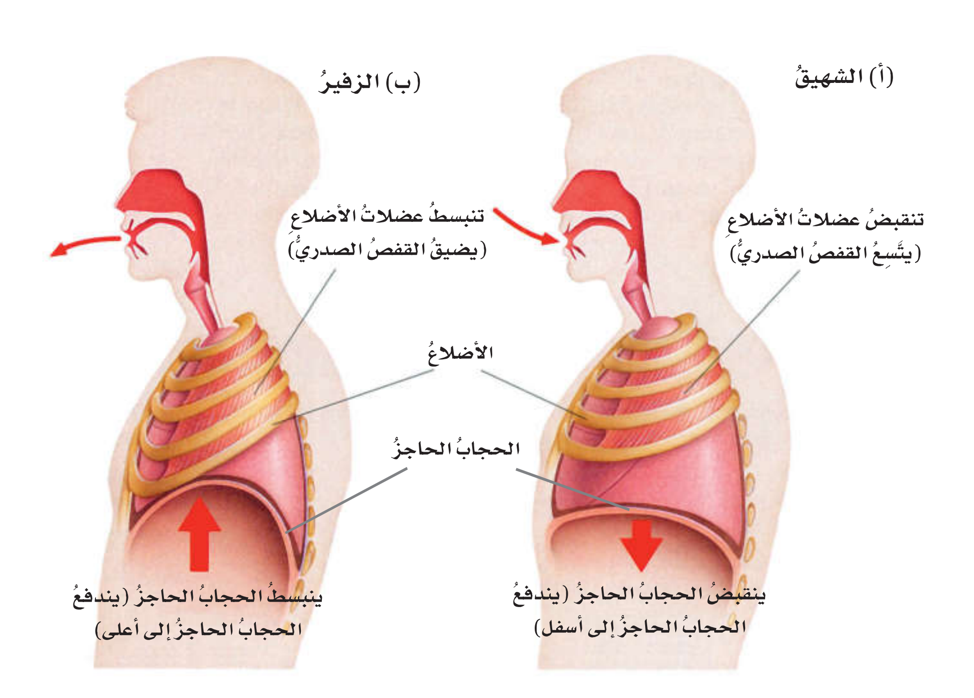
وهكذا ينتقلُ معظمُ ثاني أكسيدِ الكربونِ في الدمِ على صورةِ أيوناتِ البيكربوناتِ. وعندما يصلُ الدمُ إلى الرئتَين تنعكسُ التفاعلاتُ فتتَّحدُ أيوناتُ البيكربوناتِ مع أيوناتِ الهيدروجينِ لتعيدَ تكوينَ حمضِ الكربونيكِ، الذي يتفكَّكُ بدورِهِ إلى ثاني أكسيدِ الكربونِ والماءِ.

$$HCO_3^- + H^+ \leftrightarrows H_2CO_3 \leftrightarrows H_2O + CO_2$$

ينتشرُ ثاني أكسيدِ الكربونِ من الشعيراتِ الدمويَّةِ إلى الحويصلاتِ الهوائيَّةِ، ثمَّ يُطرَحُ خارجًا.

آليَّةُ التنفُّسِ

التنفُّسُ هو عمليَّةُ تحريكِ الهواءِ إلى الرئتينِ وخروجه منهما. **فالشهيقُ Inspiration**، كما في الشكلِ 2-18 أ، هو عمليَّةُ إدخالِ الهواءِ إلى الرئتينِ. عند الشهيقِ يتسعُ تجويفُ



الشكل 2-18
تتحكَّمُ عضلةُ الحجابِ الحاجزِ وعضلاتُ الأضلاعِ في حركةِ التجويفِ الصدريِّ أثناءَ التنفُّسِ. إذا أصيبتْ هذهِ العضلاتُ بالشللِ، يتوقفُ الشهيقُ والزفيرُ.

الصدرِ بينما تنقبضُ العضلاتُ الدافعةُ، فتحرِّكُ الأضلاعَ إلى الأمامِ وإلى أعلى، وفي الوقتِ نفسِهِ ينقبضُ **الحجابُ الحاجزُ Diaphragm**، وهو عضلةٌ هيكليَّةٌ تفصلُ بينَ التجويفِ الصدريِّ والتجويفِ البطنيِّ، فيصبحُ مسطَّحًا، ويندفعُ إلى أسفلَ في اتجاهِ البطنِ.

عندما يصبحُ الحجابُ الحاجزُ مسطَّحًا، ويتمُّ رفعُ الأضلاعِ إلى أعلى وإلى الأمامِ، يزدادُ حجمُ الرئتينِ، ويصبحُ ضغطُ الهواءِ داخلَهما أقلَّ منه خارجَ الجسمِ، فيندفعُ الهواءُ الجويُّ إلى داخلِ الرئتينِ.

أثناءَ **الزفيرِ Expiration**، أي عمليَّةِ إطلاقِ الهواءِ من الرئتَينِ إلى الخارجِ، تتمُّ الحركاتُ في اتِّجاهٍ معاكسٍ، كما في الشكلِ 2-18ب. تنبسطُ عضلاتُ الأضلاعِ والحجابِ الحاجزِ، فيؤدّي ذلك إلى تناقصِ حجمِ الرئتينِ. فيصبحُ ضغطُ الهواءِ داخلَ التجويفِ أعلى منه خارجَ الجسمِ. عندها يتسبَّبُ فارقُ الضغطِ هذا بدفعِ الهواءِ إلى خارجِ الرئتَينِ حتّى يتساوى الضغطانِ من جديدٍ.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

الزفيرُ

expiration

من اللاتينيَّةِ expir وتعني «التنفُّسَ خارجًا»

تنظيمُ عمليةِ التنفُّس

يعتمدُ معدَّلُ استخدامِ الأكسجينِ على نشاطِ الخلايا. فكلَّما ازدادَ نشاطُ الخلايا، تزدادُ كمّيَّةُ الأكسجينِ التي تتطلَّبُها الخلايا، ما يجعلُ الجسمَ في حاجةٍ إلى التنفُّسِ بوتيرةٍ أسرعَ. وكلّما قلَّ النشاطُ تنخفضُ وتيرةُ التنفُّسِ. يتغيرُ معدّلُ التنفُّسِ وعمقُهُ في عمليَّةِ توفيرِ الأكسجينِ وطردِ ثاني أكسيدِ الكربونِ.

يتحكَّمُ الدماغُ وجذعُ الدماغِ بمعدَّلِ التنفُّسِ، من خلالِ مراقبتِهما ثانيَ أكسيدِ الكربونِ في الدمِ. عند ازديادِ النشاطِ، يرتفعُ تركيزُ ثاني أكسيدِ الكربونِ في الدمِ، فينبِّهُ خلايا عصبيَّةً موجودةً في الدماغِ. وبدورِهِ ينبِّهُ جذعُ الدماغِ الحجابَ الحاجزَ لرفعِ معدَّلِ التنفُّسِ وزيادةِ عمقِهِ. وحالما ينخفضُ تركيزُ ثاني أكسيدِ الكربونِ، يرسلُ الدماغُ رسالةً إلى عضلاتِ التنفُّسِ كي تعودَ إلى معدّلِ تنفُّسٍ أدنى. يخضعُ كلُّ هذا، وبصورةٍ لا إراديَّةٍ، لتحكُّمِ مراكزَ موجودةٍ في الدماغِ. لكن بإمكانِ الفردِ، وبشكلٍ مؤقّتٍ، أن يتخطّى نظامَ التحكُّمِ في التنفُّسِ، في أيِّ وقتٍ من الأوقاتِ، بحيثُ يتوقَّفُ عن التنفُّسِ حتّى يفقدَ الوعيَ. عندئذٍ، يتولّى جذعُ الدماغِ عمليَّةَ الضبطِ، فيعودُ التنفُّسُ الطبيعيُّ من جديدٍ. تسمحُ هذهِ الآليَّةُ، للإنسانِ، بأن يسبحَ تحتَ الماءِ لفتراتٍ زمنيةٍ قصيرةٍ، وبالاستسلامِ للنومِ دونَ أن يقلقَ بشأنِ تنفُّسِهِ.

مراجعةُ القسمِ 2-3

1. ما الاختلافُ بينَ التنفُّسِ الداخليِّ والتنفُّسِ الخارجيِّ؟
2. تتبَّعْ مسارَ الأكسجينِ بدءًا من الجوِّ الخارجيِّ وصولاً إلى الدمِ.
3. وضِّحْ عمليَّةَ تبادلِ الغازاتِ في الرئتَينِ.
4. ميِّزْ بين نقلِ الأكسجينِ ونقلِ ثاني أكسيدِ الكربونِ في الدمِ.
5. وضِّحْ آليَّةَ عملِ العضلاتِ والعظامِ أثناءَ الشهيقِ.
6. ما العواملُ التي تنظِّمُ معدَّلَ التنفُّسِ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

7. لمَ لا يحتاجُ كائنٌ حيٌّ، أحاديُّ الخليَّةِ، إلى جهازِ تنفُّسٍ؟
8. يكونُ الدمُ في الشرايينِ مُشبعًا بالأكسجينِ بما تقرُبُ نسبتُهُ من 98%. ما الحالتانِ المرضيَّتانِ اللَّتانِ قد تؤدِّيانِ إلى تشبُّعٍ بالأكسجينِ أقلَّ؟

مراجعةُ الفصل 2

ملخَّصٌ / مفرداتٌ

1-2

- يتألَّفُ الجهازُ الدوريُّ عند الإنسانِ، من الجهازِ الوعائيِّ القلبيِّ ومن الجهازِ اللمفيِّ.
- القلبُ عضوٌ عضليٌّ يضخُّ الدمَ عبرَ شبكةٍ معقَّدةٍ من الأوعيةِ الدمويَّةِ.
- يتدفَّقُ الدمُ من الجسمِ إلى القلبِ، والقلبُ يضخُّهُ إلى الرئتَين. بعد انتقالِ الأكسجينِ إلى الدمِ، يضخُّ القلبُ الدمَ إلى باقي أجزاءِ الجسمِ.
- تنقلُ الشرايينُ الدمَ بعيدًا عن القلبِ. ويتمُّ تبادلُ الموادِّ عندَ الشُّعيراتِ الدمويَّةِ. الأوردةُ مزوَّدةٌ بصِماماتٍ، وهي تعيدُ الدمَ إلى القلبِ.
- ينتقلُ الدمُ في الدورةِ الرئويَّةِ بينَ القلبِ والرئتَين. ينتقلُ الدمُ في الدورةِ الجهازيَّةِ بين القلبِ وجميعِ الأنسجةِ الأخرى في الجسمِ.
- يعيدُ الجهازُ اللمفيُّ اللمفَ، أي السائلَ الذي تجمَّعَ في الأنسجةِ، إلى الدمِ.

مفرداتٌ

- **الأبهرُ** Aorta (26)
- **الأذَينُ** Atrium (25)
- **البطَينُ** Ventricle (25)
- **تصلُّبُ الشرايينِ** Atherosclerosis (31)
- **الجهازُ اللمفيُّ** Lymphatic system (25)
- **الجهازُ الوعائيُّ القلبيُّ** (25) Cardiovascular system
- **الدورةُ التاجيَّةُ** Coronary circulation (31)
- **الدورةُ الجهازيَّةُ** Systemic circulation (30)
- **الدورةُ الرئويَّةُ** Pulmonary circulation (29)
- **الشريانُ** Artery (28)
- **الشُّعيرةُ الدمويَّةُ** Blood capillary (29)
- **الصِّمامُ** Valve (25)
- **ضغطُ الدمِ** Blood pressure (28)
- **ضغطُ الدمِ المرتفعُ** Hypertension (29)
- **عقدةُ الأذينِ-بطينيَّةُ** (27) Atrioventricular node
- **عقدةُ الجيبِ-أذينيَّةُ** Sinoatrial node (27)
- **اللمفُ** Lymph (31)
- **النبضُ** Pulse (28)
- **الوريدُ** Vein (29)

2-2

- يتكوَّنُ الدمُ من البلازما (الماءِ، والموادِّ الأيضيَّةِ، والفضلاتِ، والأملاحِ، والبروتيناتِ) ومن خلايا الدمِ الحمراءِ وخلايا الدمِ البيضاءِ، والصفائحِ الدمويَّةِ.
- تنقلُ خلايا الدمِ الحمراءُ الأكسجينَ. وخلايا الدمِ البيضاءُ تساهمُ في الدفاعِ عن الجسمِ عندَ الإصابةِ بمرضٍ. الصفائحُ الدمويَّةُ أساسيَّةٌ في عمليَّةِ تكوُّنِ الجلطةِ الدمويَّةِ.
- يحدثُ تجلُّطُ الدمِ عندما تحرِّرُ الصفائحُ الدمويَّةُ بروتينًا يؤدّي إلى حدوثِ التفاعلِ الذي ينتجُ عنهُ التجلُّطُ. تتشكَّلُ شبكةٌ من الفيبرين تحتجزُ خلايا الدمِ والصفائحَ الدمويَّةَ.
- يمكنُ تصنيفُ دمِ الإنسانِ في أربعِ فصائلَ: A، B، AB، و O؛ وذلكَ بالاستنادِ إلى بروتيناتٍ توجدُ على أسطُحِ خلايا الدمِ الحمراءِ. يوجدُ غالبًا عند أسطحِ خلايا الدمِ الحمراءِ مولِّدُ ضدٍّ آخرُ يسمّى العاملَ ريزيس Rh.

مفرداتٌ

- **البلازما** Plasma (32)
- **الجسمُ المضادُّ** Antibody (33)
- **الخليَّةُ البلعميَّةُ** Phagocyte (33)
- **خليَّةُ الدمِ البيضاءِ** (33)White blood cell (leukocyte)
- **خليةُ الدمِ الحمراءِ** (32) Red blood cell (erythrocyte)
- **الصفيحةُ الدمويَّةُ** Platelet (33)
- **العاملُ الريسيُّ** Rh factor (36)
- **فصيلةُ الدمِ** Blood type (34)
- **الفيبرينُ** Fibrin (34)
- **مولِّدُ الضدِّ** Antigen (34)
- **الهيموكلوبين** Hemoglobin (32)

3-2

- التنفُّسُ الخارجيُّ هو تبادلُ الغازاتِ بين الجوِّ الخارجيِّ والدمِ. التنفُّسُ الداخليُّ هو تبادلُ الغازاتِ بينَ الدمِ وخلايا الجسمِ.
- الرئتانِ هما موضعُ تبادلِ الغازاتِ بينَ الجوِّ الخارجيِّ والدمِ.
- يدخلُ الهواءُ الفمَ أو الأنفَ، ويمرُّ عبرَ البلعومِ والحنجرةِ والقصبةِ الهوائيَّةِ والشُّعبتَيْنِ الهوائيَّتَيْنِ والشعَيبَاتِ الهوائيَّةِ ليدخلَ الحويصلاتِ الهوائيَّةَ التي تحيطُ بكلِّ حويصلةٍ منها شبكةٌ من الشُّعيراتِ الدمويَّةِ. تحدثُ جميعُ عمليّاتِ تبادلِ الغازاتِ، في الرئتَينِ، بين الحويصلاتِ الهوائيَّةِ والشعيراتِ الدمويَّةِ.
- يُنقلُ معظمُ الأكسجينُ مرتبطًا بالهيموكلوبين، وينقلُ الباقي مذابًا في البلازما. يُنقلُ بعضُ ثاني أكسيدِ الكربونِ مرتبطًا بالهيموكلوبين، أما معظمُهُ فيُنقَلُ على صورةِ أيوناتِ البيكربونات.
- أثناءَ الشهيقِ، ينقبضُ الحجابُ الحاجزُ وعضلاتُ الأضلاعِ، ويتَّسعُ التجويفُ الصدريُّ فينسحبُ الهواءُ إلى داخلِ الرئتَينِ. أثناءَ الزفيرِ، تنبسطُ عضلاتُ الحجابِ الحاجزِ وعضلاتُ الأضلاعِ فيضيقُ التجويفُ الصدريُّ، ويُدفعُ الهواءُ من الرئتَينِ إلى الخارجِ.
- يخضعُ معدَّلُ التنفُّسِ لتحكُّمٍ من مراكزَ عصبيَّةٍ في الدماغِ تراقبُ تركيزَ ثاني أكسيدِ الكربونِ في الدمِ.

مفرداتٌ

- **البلعومُ** Pharynx (38)
- **التنفُّسُ الخارجيُّ** External respiration (38)
- **التنفُّسُ الداخليُّ** Internal respiration (38)
- **الجهازُ التنفُّسيُّ** Respiratory system (38)
- **الحجابُ الحاجزُ** Diaphragm (42)
- **الحَنْجرةُ** Larynx (38)
- **الحويصلةُ الهوائيَّةُ** Alveolus (39)
- **الرئةُ** Lung (38)
- **الزفيرُ** Expiration (42)
- **الشعبةُ الهوائيَّةُ** Bronchus (39)
- **الشُّعَيْبةُ الهوائيَّةُ** Bronchiole (39)
- **الشهيقُ** Inspiration (41)
- **القصبةُ الهوائيَّةُ** Trachea (39)
- **لسانُ المزمارِ** Epiglottis (38)

مراجعةٌ

مفرداتٌ

1. ميِّزْ بينَ ضغطِ الانقباضِ الأذينيِّ وضغطِ الانقباضِ البطَينيِّ.
2. عيِّنِ المصطلحَ الذي لا ينتمي إلى المجموعةِ التاليةِ وعلِّلْ ذلكَ: خليَّةُ دمٍ حمراءُ، هيموكلوبينٌ، خليَّةُ دمٍ بيضاءُ، صفيحةٌ دمويَّةٌ.
3. وضِّحِ العلاقةَ بينَ كلِّ زوجٍ مما يلي من المفاهيمِ:
   - أ. صِمامٌ بينَ أذينٍ وبُطينٍ وصِمامٌ هلاليٌّ
   - ب. شريانٌ ووريدٌ
   - ج. شهيقٌ وزفيرٌ

اختيارٌ من مُتعدِّدٍ

4. في أيِّ اتجاهٍ ينتقلُ الدمُ أثناءَ الانقباضِ البطينيِّ؟
   - أ. من الأذينَينِ إلى الأوردةِ.
   - ب. من البطَينينِ إلى الأذينَينِ.
   - ج. من الأذينَينِ إلى البطَينينِ.
   - د. من البطَينينِ إلى الشرايينِ.
5. ما وظيفةُ الجهازِ اللمفيِّ؟
   - أ. يساعدُ الدمَ على نقلِ غازِ الأكسجينِ.
   - ب. يساعدُ الجسمَ على مقاومةِ المرضِ.
   - ج. يتفاعلُ مع الجهازِ التنفُّسيِّ.
   - د. ينقلُ السائلَ الذي يوجدُ بينَ الخلايا بعيدًا عن القلبِ.
6. أيٌّ من التالي يمثِّلُ دورَ الفيبرينِ؟
   - أ. نقلُ الأكسجينِ.
   - ب. المساهمةُ في تكوُّنِ الجلطةِ الدمويَّةِ.
   - ج. تدميرُ الكائناتِ الحيَّةِ الدقيقةِ التي تجتاحُ الجسمَ.
   - د. تنشيطُ عمليَّةِ إنتاجِ الأجسامِ المضادَّةِ.

يبيِّنُ الرسمُ البيانيُّ التالي كيفَ يتأثرُ ضغطُ الانقباضِ القلبيِّ بكمّيَّةِ الملحِ التي تدخلُ الجسمَ في اليومِ الواحدِ. استخدمِ الرسمَ البيانيَّ للإجابةِ عن السؤالِ الذي يليهِ.

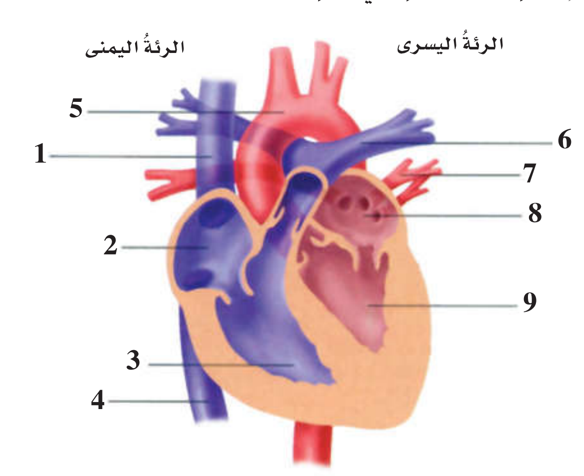
تأثيرُ الملحِ في ضغطِ الانقباضِ القلبيِّ

ضغطُ الانقباضِ القلبيِّ (مليمتر زئبقي): 0، 110، 120، 130، 140، 150، 160، 170

كمّيَّةُ الملحِ التي تدخلُ الجسمَ في اليومِ الواحدِ (غرام): 0، 10، 20، 30

7. ما الصلةُ التي تربطُ بينَ كمّيَّةِ الملحِ التي تدخلُ الجسمَ وضغطِ الدمِ؟
   - أ. يرتفعُ ضغطُ الدمِ مع ارتفاعِ كمّيَّةِ الملحِ التي تدخلُ إلى الجسمِ.
   - ب. ينخفضُ ضغطُ الدمِ مع ازديادِ كمّيَّةِ الملحِ التي تدخلُ إلى الجسمِ.
   - ج. يؤدِّي دخولُ 20 جرامًا من الملحِ إلى الجسمِ، في اليومِ الواحدِ، إلى استقرارٍ في ضغطِ الدمِ.
   - د. يؤدِّي دخولُ 30 جرامًا من الملحِ إلى الجسمِ، في اليومِ الواحدِ، إلى استقرارٍ في ضغطِ الدمِ.

يظهرُ النموذجُ التالي مقطعًا طوليًّا للقلبِ. استخدمْ هذا النموذجَ للإجابةِ عن السؤالِ الذي يليهِ.



8. ما الأرقامُ التي تشيرُ إلى الأوعيةِ الدمويَّةِ التي تأتي بالدمِ إلى داخلِ القلبِ؟

أ. 1، 4، 7	ج. 4، 5، 6
ب. 1، 5، 6	د. 5 و 6 فقط

إجابةٌ قصيرةٌ

9. عدِّدْ أجزاءَ قلبِ الإنسانِ، ووضِّحْ وظيفةَ كلٍّ منها.
10. تتبَّعْ مسارَ الدمِ عبرَ القلبِ والرئتينِ والجسمِ.
11. ما العلاقةُ بينَ تركيبِ كلٍّ من الشرايينِ والأوردةِ والشعَيراتِ الدمويَّةِ وبينَ وظيفةِ كلٍّ منها؟
12. قارنْ بينَ الشرايينِ الرئويَّةِ والأبهرِ.
13. قارنْ بينَ الأوردةِ الرئويَّةِ والوريدِ الأجوفِ السفليِّ.
14. لخِّصْ وظائفَ الجهازِ اللمفيِّ.
15. ما وظيفةُ كلِّ مكوِّنٍ من مكوِّناتِ الدمِ.
16. ما التركيبُ الذي تفتقرُ إليهِ خلايا الدمِ الحمراءُ، ويحدُّ افتقارُها إليهِ من عُمرِها؟
17. اذكرْ ثلاثةَ فروقٍ بينَ خلايا الدمِ البيضاءِ وخلايا الدمِ الحمراءِ.
18. لخِّصْ خطواتِ عمليَّةِ تكوُّنِ الجلطةِ الدمويَّةِ التي تحدثُ بعدَ إصابةِ وعاءٍ دمويٍّ.
19. وضِّحْ تصنيفَ فصائلِ الدمِ بحسبِ نظامِ A-B-O.
20. ما دورُ العاملِ ريسي Rh في تحديدِ التوافقِ الدمويِّ المتعلِّقِ بنقلِ الدمِ من شخصٍ إلى آخرَ متطابقينِ في نظامِ A-B-O.
21. تتبَّعْ مسارَ الأكسجينِ من خارجِ الجسمِ إلى داخلِ الدمِ.
22. قارنْ بينَ عمليَّتَيْ نقلِ وتبادلِ غازَيِ الأكسجينِ وثاني أكسيدِ الكربونِ.
23. صفْ حركةَ الحجابِ الحاجزِ وعضلاتِ الأضلاعِ أثناءَ الشهيقِ والزفيرِ.
24. سمِّ العاملَ الذي يُنبِّهُ جذعَ الدماغِ لزيادةِ معدلِ التنفُّسِ.
25. ضعْ خريطةَ مفاهيمَ تبيِّنُ فيها العلاقةَ بينَ الجهازِ الوعائيِّ القلبيِّ والجهازِ اللمفيِّ والجهازِ التنفُّسيِّ مستخدمًا المفرداتِ التاليةَ: الشريانَ، الشعَيرةَ الدمويَّةَ، الوريدَ، الجهازَ اللمفيَّ، الدورةَ الرئويَّةَ، الدورةَ الجهازيَّةَ، الأذَينَ، البطَينَ، الأبهرَ، الوريدَ الأجوفَ.

تفكيرٌ ناقدٌ

1. يمكنُ لشخصٍ مصابٍ بفقرِ الدمِ أن يكونَ لديهِ عددٌ قليلٌ جدًّا من خلايا الدمِ الحمراءِ، أو نسبةٌ قليلةٌ من الهيموكلوبين. إلا أن العَرَضَ الأكثرَ شيوعًا لهذهِ الإصابةِ هو الافتقارُ إلى الطاقةِ. لماذا يسبِّبُ فقرُ الدمِ هذا العَرَضَ؟
2. تتمثَّلُ إحدى وظائفِ الجهازِ الوعائيِّ القلبيِّ في الحفاظِ على درجةِ حرارةٍ منتظمةٍ للجسمِ. وضِّحْ كيفَ يمكنُ لدَورانِ الدمِ المستمرِّ، عبرَ أنحاءِ الجسمِ، أن يقومَ بهذهِ المهمَّةِ.
3. احسبْ عددَ المرّاتِ التي نبضَ فيها قلبُ شخصٍ بلغَ الخامسةَ والسبعينَ، مفترضًا أن متوسِّطَ نبضاتِ القلبِ هو 70 نبضةً في الدقيقةِ.
4. انسخْ جدولَ فصائلِ الدمِ التاليَ على ورقةٍ، واملأهُ بالمعلوماتِ الناقصةِ التابعةِ لكلِّ فصيلةِ دمٍ.

الجدولُ 2-1 فصائلُ الدمِ

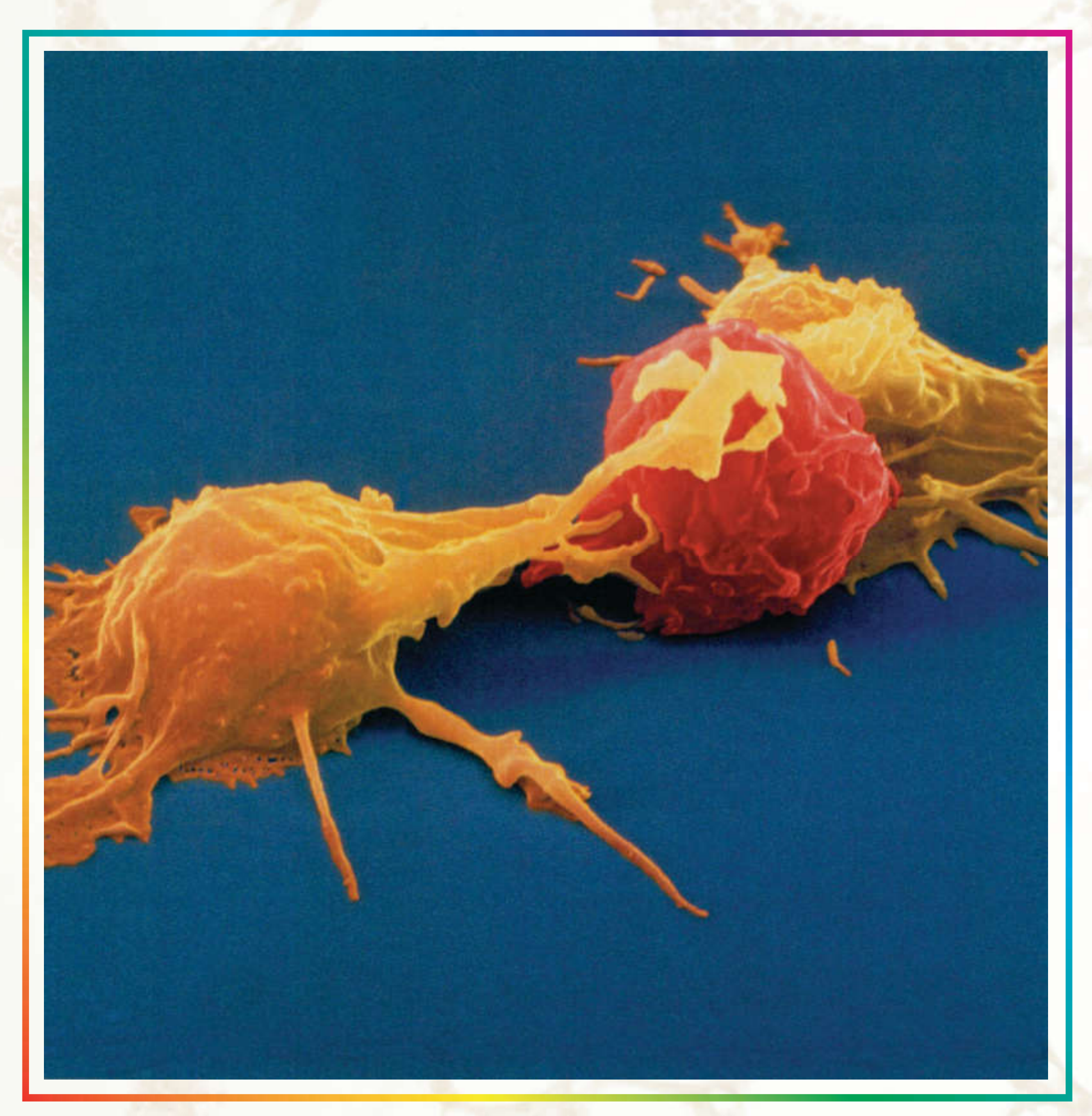
فصائلُ الدمِ	مولِّدُ الضدِّ في خلايا الدمِ الحمراءِ	الأجسامُ المضادَّةُ في البلازما	يستقبلُ الدمَ	يعطي الدمَ
A		B	A ،O	AB ،A
B	B		B ،O	AB ،B
AB	A و B	لا A ولا B	O ،AB ،B ،A	
O	لا A ولا B	A و B		O ،AB ،B ،A

توسيعُ آفاقِ التفكيرِ

1. يكفي حدوثُ انخفاضٍ قليلٍ أو حدوثُ ارتفاعٍ قليلٍ في حجمِ الدمِ للتأثيرِ في ضغطِ الدمِ. عندما يتعرَّضُ شخصٌ لحادثٍ ما ويفقدُ كميَّةً كبيرةً من الدمِ، يتمُّ نقلُ البلازما إلى هذا الشخصِ بدلاً من دمٍ كاملٍ. ما الفائدةُ من استخدامِ البلازما في مثلِ هذهِ الحالةِ؟
2. أولُ أكسيدِ الكربونِ غازٌ سامٌّ جدًّا ولا رائحةَ لهُ.
   أ - كيفَ يؤثِّرُ هذا الغازُ في الجهازَينِ التنفُّسيِّ والدوريِّ؟
   ب - ما الأعراضُ التي تظهرُ على شخصٍ تنشَّقَ أولَ أكسيدِ الكربونِ؟

الفصـــل 3

أجهزةُ الجسمِ الدفاعيَّةُ



خليَّتانِ قاتلتانِ طبيعيَّتانِ، من الخلايا الدفاعيَّةِ في الجسمِ، تهاجمانِ خليَّةً سرطانيَّةً (باللونِ الأحمرِ). وتقتلانِها عن طريقِ ثَقْبِ غشائِها. (14,900×)

3-1 الدفاعاتُ العامَّةُ

3-2 الدفاعاتُ الخاصَّةُ: جهازُ المناعةِ

3-3 مرضُ الإيدزِ

المفهومُ الرئيسُ: الثباتُ والاتِّزانُ الداخليُّ

انتبِهْ، وأنتَ تقرأُ، إلى الطرقِ التي يتمُّ فيها تشخيصُ الأمراضِ وعلاجُها والوقايةُ منها.

القسم

1-3

النواتج التعليمية

▲ يلخّصُ مسلّماتِ كوخ في تعرُّفِ مسبِّبِ المرضِ.

● يوضحُ كيفَ تتمُّ حمايةُ الجسمِ من مسبِّباتِ المرضِ بواسطةِ الأغشيةِ المخاطيَّةِ والجلدِ.

■ يوضحُ خطواتِ الاستجابةِ الالتهابيَّةِ.

◆ يحلِّلُ أدوارَ خلايا الدمِ البيضاءِ في مقاومةِ مسبِّباتِ المرضِ.

▲ يوضحُ أدوارَ الحمّى والبروتيناتِ في مقاومةِ مسبِّباتِ المرضِ.

الدفاعاتُ العامَّةُ

يتعرّضُ جسمُ الإنسانِ باستمرارٍ إلى مُسبِّباتِ الأمراضِ من مثلِ الفيروساتِ والبكتيريا. وعند دخولِ أحدِ هذه المُسبِّباتِ وتكاثرِها فيهِ، مثلِ فيروسِ الزكامِ، فإنها تسبِّب أمراضًا تسمّى **الأمراضَ المُعْدِيةَ Infectious diseases**. يوضحُ هذا القسمُ كيفَ يتعرّفُ الجسمُ تلكَ العناصرَ، وكيفَ يدافعُ عن نفسِهِ ضدَّها.

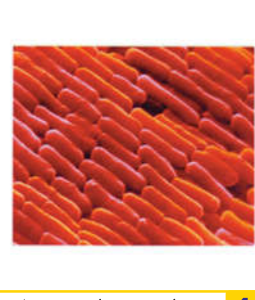
تحديدُ مسبِّباتِ المرضِ

مسبِّبُ المرضِ Pathogen هو كلُّ ما يسبِّبُ المرضَ. كان الطبيبُ الألمانيُّ روبرت كوخ Robert Koch (1843-1910) أولَ من وضعَ إجراءً عمليًّا لتحديدِ مسبِّبِ مرضٍ معيَّنٍ، خطوةً خطوةً. فخلالَ سبعينياتِ القرنِ التاسعَ عشرَ (1870-1880م) قامَ كوخُ بدراسةِ *الجمرةِ الخبيثةِ Anthrax*، وهي مرضٌ يصيبُ الماشيةَ، ويمكنُهُ أن ينتقلَ منها إلى الناسِ وينتشرَ بينَهُم. فلاحظَ أن دمَ الماشيةِ المصابةِ بهذا المرضِ يحتوي على أعدادٍ كبيرةٍ من البكتيريا، فافترضَ أن تلكَ البكتيريا هي التي تسبِّبُ مرضَ الجمرةِ الخبيثةِ.

ولاختبارِ فرضيتِهِ، عزلَ كوخ بكتيريا عصويَّةً من بقرةٍ مصابةٍ بمرضِ الجمرةِ الخبيثةِ، ونمّى زرعًا من هذه البكتيريا ليتحقّقَ من أنها من نوعٍ واحدٍ فقط. بعد ذلكَ، حقنَ أبقارًا سليمةً بتلكَ البكتيريا، فأصيبتْ بالجمرةِ الخبيثةِ. ووجدَ أن دمَ تلكَ الأبقارِ يحتوي على البكتيريا العصويَّةِ نفسِها التي وجدَها في البقرةِ الأولى. أما الأبقارُ السليمةُ التي لم يحقِنْها فبقيتْ خاليةً من هذهِ البكتيريا. فاستنتجَ أن البكتيريا التي عزلَها هي التي سبَّبتْ مرضَ الجمرةِ الخبيثةِ. ومن تلكَ الدراساتِ كوَّنَ كوخ ما يسمّى **مسلّماتِ كوخ Koch's postulates**، التي أصبحت مبادئَ يُستندُ إليها لتحديدِ سببِ المرضِ. يوضحُ الشكلُ 1-3 تلكَ المسلَّماتِ.

الشكل 1-3
يستطيعُ العلماءُ تحديدَ مسبِّبِ المرضِ المُعدي عن طريقِ تطبيقِ المبادئِ الأربعةِ لمسلّماتِ كوخ.

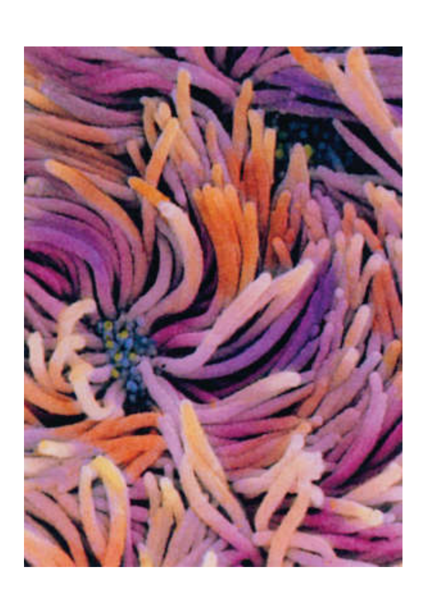




الجدولُ 1-3 بعضُ الأمراضِ ومسبِّباتُها وطرقُ انتقالِها

المرضُ	مسبِّبُ المرض	طريقةُ الانتقال
التسمُّمُ الغذائيُّ	*Clostridium botulinum* (بكتيريا)	الأطعمةُ الفاسدةُ والملوَّثةُ
الإيدز	*HIV* (فيروسُ فقدانِ المناعةِ عندَ الإنسانِ)	الاتصالُ الجنسيُّ، إبرٌ ملوَّثةٌ، انتقالُ سوائلَ ملوَّثةٍ من الأمِّ المصابةِ إلى الجنينِ أو إلى الرضيعِ
الزحارُ الأميبيُّ	*Entamoeba histolytica* (كائنٌ حيٌّ طلائعيٌّ)	الطعامُ والماءُ الملوَّثانِ
قدمُ الرياضيِّ	*Tinea* (فطرٌ)	ملامسةُ أسطحٍ ملوَّثةٍ، ملامسةٌ مباشرةٌ من شخصٍ لشخصٍ آخرَ

اعتمدَ العلماءُ مسلّماتِ كوخ لتعرُّفِ الآلافِ من مسبِّباتِ المرضِ لدى الإنسانِ، كالبكتيريا والفيروساتِ والطلائعيّاتِ والفطريّاتِ. تنتقلُ مسبِّباتُ المرضِ إلى الإنسانِ بخمسِ طرقٍ رئيسةٍ: عبرَ الهواءِ، والطعامِ، والماءِ، وبملامسةِ شخصٍ لآخرَ، وعبرَ الحيواناتِ عن طريقِ اللسعِ أو العضِّ وخلافِهِ. يبيِّنُ الجدولُ 3-1 أمثلةً على مسبِّباتٍ مختلفةٍ لأمراضِ الإنسانِ، وطرقِ الانتقالِ الشائعةِ لكلٍّ منها.



الشكل 3-2
قنواتُ الجهازِ التنفُّسيِّ مبطَّنةٌ بخلايا تغطّيها أهدابٌ نابضةٌ (الخيوطُ الأرجوانيَّةُ). تعلقُ مسبِّباتُ المرضِ (الدوائرُ الزرقاءُ) في المادَّةِ المخاطيَّةِ التي تُفرزُها تلكَ الخلايا، فتدفعُها الأهدابُ إلى الخارجِ (5,325×).

الجلدُ والأغشيةُ المخاطيَّةُ

تسهمُ الدفاعاتُ العامَّةُ في حمايةِ الجسمِ من أيِّ مسبِّبٍ لمرضٍ أيًّا تكنْ هويَّتُهُ. وهي تشتملُ على الجلدِ و**الأغشيةِ المخاطيَّةِ Mucous membranes** اللذينِ يعملانِ كحاجزينِ طبيعيَّينِ في وجهِ مسبِّباتِ المرضِ.

يعملُ الجلدُ كحاجزٍ فيزيائيٍّ يمنعُ وصولَ مسبِّباتِ المرضِ إلى داخلِ الجسمِ، وهوَ يُفرزُ العرقَ والزيوتَ والموادَّ الشمعيَّةَ التي تحتوي على مكوناتٍ كيميائيَّةٍ سامَّةٍ للكثيرِ من مسبِّباتِ المرضِ. فالعرقُ، على سبيلِ المثالِ، يحتوي على أنزيمِ *الليسوزيم Lysozyme* الذي يقتلُ بعضَ البكتيريا.

أما الأغشيةُ المخاطيَّةُ فإنها تشكلُ حاجزًا آخرَ لمسبِّباتِ المرضِ. فهي تُفرزُ *المادّةَ المخاطيَّةَ Mucus* التي تلتقطُ وتحتجزُ مسبِّباتِ المرضِ. تبطِّنُ الأغشيةُ المخاطيَّةُ أعضاءً من جسمِ الإنسانِ، كقنواتِ الجهازِ التنفُّسيِّ التي تحتوي على خلايا تغطيها أهدابٌ نابضةٌ، الشكل 3-2. تدفعُ الأهدابُ المادَّةَ المخاطيَّةَ وتدفعُ معها مسبِّباتِ المرضِ إلى أعلى في اتِّجاهِ البلعومِ، كما تدمِّرُ أحماضُ المعدةِ معظمَ مسبِّباتِ المرضِ التي يتمُّ بلعُها وتصلُ إلى المعدةِ.

الاستجابةُ الالتهابيَّةُ

إذا تمكَّنَ أيُّ مسبِّبٍ لمرضٍ من عبورِ الجلدِ أو الأغشيةِ المخاطيَّةِ، فإنهُ يحفِّزُ **استجابةً التهابيَّةً Inflammatory response**، وهي سلسلةٌ من الأحداثِ التي تقضي على العدوى وتسرِّعُ عمليَّةَ الشفاءِ، انظرِ الشكلَ 3-3. فعندما تدمَّرُ الخلايا نتيجةً لتمزُّقِ الجلدِ أو غزوِ مسبِّباتِ المرضِ، يفرزُ بعضُها مادةَ **الهستامين Histamine**، الخطوةُ **1** . يسبِّبُ الهستامينُ زيادةَ تدفُّقِ الدمِ نحوَ منطقةِ الإصابةِ، ويجعلُ الشعيراتِ الدمويَّةَ المحاذيَةَ أكثرَ نفاذيَّةً. وينتجُ عن ذلك احمرارٌ وانتفاخٌ وسخونةٌ وألمٌ حولَ منطقةِ الإصابةِ. أما إذا تمزّقتِ الأوعيةُ الدمويَّةُ، فإن الصفائحَ الدمويَّةَ هي التي تشرعُ في تكوينِ الجلطاتِ لسدِّ التمزُّقِ ومنعِ دخولِ مسبِّباتِ المرضِ إلى الجسمِ. تجتازُ السوائلُ والخلايا البلعميَّةُ جدرانَ الشعيراتِ الدمويَّةِ وتتَّجهُ نحوَ المنطقةِ المصابةِ، الخطوةُ **2** . تبتلعُ **الخلايا البلعميَّةُ Phagocytes** مسبِّباتِ المرضِ والموادَّ الغريبةَ وتدمِّرُها، الخطوةُ **3** . يجتذبُ الهستامينُ الخلايا البلعميةَ، وبعضَ الأنواعِ الأخرى من خلايا الدمِ البيضاءِ، إلى موقعِ الإصابةِ. إن خلايا الدمِ البيضاءَ **المتعادلةَ Neutrophils** هي النوعُ الأكثرُ وفرةً بين الخلايا البلعميَّةِ في الجسمِ. تجولُ هذهِ الخلايا في الأوعيةِ الدمويَّةِ، ويمكنُها اجتيازُ الشعيراتِ الدمويَّةِ للوصولِ إلى موقعِ الإصابةِ، حيثُ تبتلعُ مسبِّباتِ المرضِ التي يمكنُ أن تصادفَها.

صلةٌ بالبيئةِ

الزراعةُ وأمراضُ الإنسانِ

أدتْ بدايةُ اعتمادِ الإنسانِ على الوسائلِ الزراعيَّةِ وتربيةِ الماشيةِ إلى تبدّلٍ في طبيعةِ الأمراضِ التي تصيبُ الإنسانَ. فعندما بدأ الإنسانُ يربّي قطعانًا من الحيواناتِ الأليفةِ، كالأبقارِ والخرافِ، تعرَّضَ لمسبِّباتِ المرضِ التي تصيبُ هذه الحيواناتِ. وأخذَ بعضُ هذه المسبِّباتِ ينقلُ إلى الإنسانِ أمراضًا كالحصبةِ والسلِّ والجدريِّ والأنفلونزا وهي أمراضٌ يفترضُ أنها انتقلتْ إلى الإنسانِ عن طريقِ الحيواناتِ الداجنةِ.

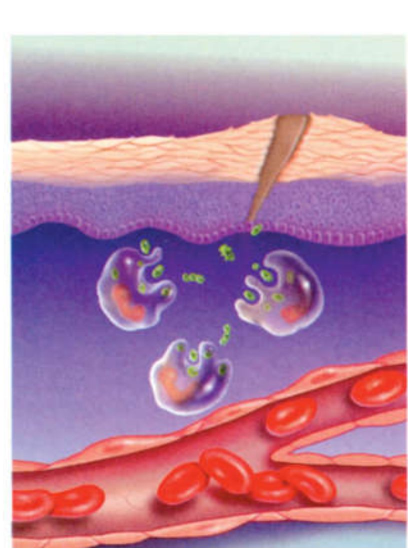
الشكل 3-3
إصابةُ الخلايا بأضرارٍ أو جروحٍ، تحفِّزُ استجابةً التهابيَّةً.



1 قد يسمحُ جرحٌ لمسبِّباتِ المرضِ بتخطي الحاجزِ الجلديِّ. تحررُ الخلايا المصابةُ موادَّ كيميائيَّةً كالهستامين.



2 تستجيبُ الشعيراتُ الدمويَّةُ المحاذيةُ لموقعِ الإصابةِ، فتنتفخُ وتسمحُ لسوائلِ الدمِ بأن ترشحَ منها. تجتازُ خلايا بلعميَّةٌ جدرانَ الشعيراتِ الدمويَّةِ وتهاجمُ مسبباتِ المرضِ.



3 تدمرُ الخلايا البلعميَّةُ مسبِّباتِ المرضِ ويبدأُ الجرحُ في الالتئامِ.

وهناك نوعٌ آخرُ من الخلايا البلعميَّةِ هو **البلعميَّةُ الكبيرةُ Macrophage**، الظاهرةُ في الشكل 3-4، التي تلتهمُ مسبِّباتِ المرضِ. بعضُ هذهِ الخلايا تبقى في الأنسجةِ في انتظارِ مسبِّباتِ المرضِ، فيما يبحثُ بعضُها الآخرُ عن تلك المسبِّباتِ.

الخلايا القاتلةُ الطبيعيَّةُ Natural killer cells هي خلايا دمٍ بيضاءُ كبيرةُ الحجمِ، تهاجمُ الخلايا التي أصيبتْ بمسبِّباتِ المرضِ، وليسَ المسبِّباتِ نفسَها. فهي تهاجمُ الخلايا السرطانيَّةَ والخلايا المصابةَ بالفيروساتِ، وتثقبُ الغشاءَ الخلويَّ للخليَّةِ المصابةِ الهدفِ، فيتدفَّقُ الماءُ إلى داخلِها ويجعلُها تنفجرُ.

الاستجابة الحرارية Temperature Response

عندما يباشرُ الجسمُ عمليَّةَ المقاومةِ لمسبِّباتِ المرضِ، يمكنُ أن ترتفعَ درجةُ حرارتِهِ. وتخطّي درجةِ حرارةِ الجسمِ الطبيعيَّةِ، البالغةِ 37°C، يسمَّى *الحمَّى Fever*، وهي أحدُ أعراضِ المرضِ التي تشيرُ إلى استجابةِ الجسمِ للإصابةِ. إنَّ بعضَ مسبِّباتِ المرضِ والموادَّ الكيميائيَّةَ التي تفرزُها البلعميَّاتُ الكبيرةُ تحفِّزُ حدوثَ الحمّى. ويمكنُ للحمّى المعتدلةِ أن تحدَّ من نموِّ البكتيريا والفيروساتِ، وأن تحفِّزَ نشاطَ خلايا الدمِ البيضاءِ. إلاّ أن الحرارةَ الشديدةَ الارتفاعِ التي تفوقُ درجتُها 39°C، تشكِّلُ خطرًا لأنها قد تدمِّرُ البروتيناتِ الخلويَّةَ المهمَّةَ. أما إذا تعدتْ درجةُ الحرارةِ 41°C فقد تتسبَّبُ في الوفاةِ.

الشكل 3-4
تستخدمُ البلعميَّةُ الكبيرة (الظاهرةُ باللون الأصفر) امتدادات سيتوبلازميَّةً لالتقاطِ البكتيريا (الظاهرةِ باللونِ الأرجواني). (17,400×)

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

بلعميَّةٌ كبيرةٌ
macrophage
من اليونانيّةِ makros ومعناها «كبيرٌ»، وphagein ومعناها «يأكلُ»

البروتيناتُ

توفِّرُ البروتيناتُ أيضًا دفاعاتٍ عامّةً. فهناكَ ما يقاربُ العشرينَ من البروتيناتِ المختلفةِ التي تشكِّلُ **النظامَ المتمِّمَ Complement system**. تجولُ البروتيناتُ المتمِّمةُ في الدمِ وتنشِّطُ بعضَ مسبِّباتِ المرضِ التي تصادفها. تكوِّنُ بعضُ تلك البروتيناتِ تركيبًا يشبهُ الحلقةَ، وهذهِ تثقِّبُ أغشيةَ الخلايا المصابةِ مسبِّبةً موتَ الخلايا. وهناكَ دفاعٌ عامٌّ آخرُ يسمّى **الإنترفيرون Interferon**، وهو بروتينٌ تفرزُهُ الخلايا المصابةُ بالفيروساتِ، فيجعلُ الخلايا المجاورةَ تفرزُ بروتينًا يساعدُها على مقاومةِ الإصابةِ بالفيروسِ. وقد أمكنَ حاليًّا عن طريقِ المختبراتِ العلميَّةِ إنتاجُ الإنترفيرون بكمِّيّاتٍ كافيةٍ لاستخدامِها طبِّيًّا، وأظهرتْ بعضُ التجاربِ قدرةَ الإنترفيرون على علاجِ بعضِ أنواعِ السرطانِ.

مراجعةُ القسمِ 3-1

1. وضِّحْ كيفَ اختبرَ كوخُ فرضيَّتَهُ حولَ سببِ الجمرةِ الخبيثةِ.
2. كيفَ يعملُ الجلدُ والأغشيةُ المخاطيَّةُ في الدفاعِ عن الجسمِ؟
3. ما تأثيرُ زيادةِ نفاذيَّةِ الشعيراتِ الدمويَّةِ في الاستجابةِ الالتهابيَّةِ؟
4. فيمَ تختلفُ الخلايا القاتلةُ الطبيعيَّةُ عن الخلايا البلعميَّةِ الكبيرةِ؟
5. ما دورُ الإنترفيرون؟

تفكيرٌ ناقدٌ

6. لا يستطيعُ العلماءُ دائمًا تطبيقَ مسلَّماتِ كوخ في تحديدِ سببِ مرضٍ معيَّنٍ. فسِّرْ لماذا.
7. هل يتوجَّبُ علاجُ الحمَّى دائمًا؟ فسِّرْ إجابتَكَ.

القسم

2-3

النواتج التعليمية

▲ يصفُ أقسامَ جهازِ المناعةِ.

● يوضحُ كيفَ يتعرَّفُ جهازُ المناعةِ مسبِّباتِ المرضِ.

■ يقارنُ بينَ عملِ الخلايا T وعملِ الخلايا B في الاستجابةِ المناعيَّةِ.

◆ يميِّزُ بينَ الحساسيَّةِ والربْوِ وأمراضِ المناعةِ ضدَّ الذاتِ.

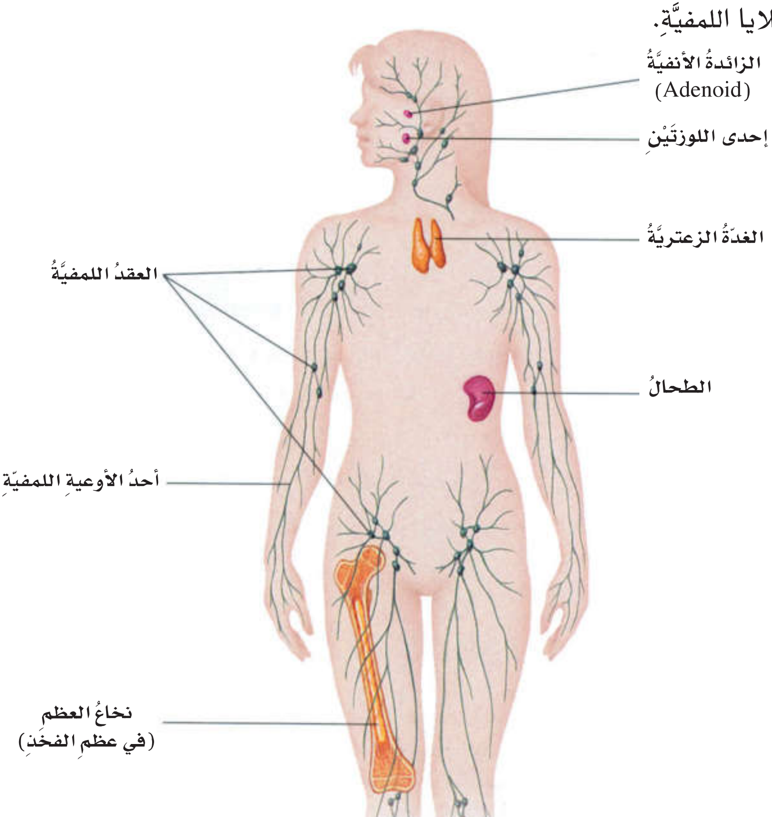
الدفاعاتُ الخاصّةُ: جهازُ المناعةِ

بالرغمِ من أن الدفاعاتِ العامَّةَ تمنعُ، عادةً، مسبِّباتِ المرضِ من إلحاقِ الأذى بالجسمِ، إلاّ أن مسبِّباتِ المرضِ تستطيعُ، أحيانًا، تخطّيَ خطوطِ الدفاعاتِ العامَّةِ وتدخلُ إلى الجسمِ. لكنَّ الجسمَ يستجيبُ باعتمادِهِ على الدفاعاتِ الخاصَّةِ، أي على الاستجابةِ التي تستهدفُ نوعًا معيَّنًا من مسبِّباتِ المرضِ.

جهازُ المناعةِ

يتكوّنُ **جهازُ المناعةِ Immune system** من أعضاءٍ عديدةٍ وخلايا دمٍ بيضاءَ مختلفةٍ تنتشرُ في كلِّ مكانٍ من الجسمِ، الشكلُ 3-5. وهو يوفِّرُ دفاعاتٍ خاصَّةً بالجسمِ، كما يسهمُ في وقفِ نموِّ الأمراضِ السرطانيَّةِ وانتشارِها. تشتملُ أعضاءُ جهازِ المناعةِ على نخاعِ العظمِ والغدَّةِ الزعتريَّةِ والعقدِ اللمفيَّةِ والطحالِ واللوزتينِ والزائدةِ الأنفيَّةِ. أما خلايا الدمِ البيضاءُ الفاعلةُ في المناعةِ الخاصّةِ فتسمّى **الخلايا اللمفيَّةَ Lymphocytes**.

ولكلِّ عضوٍ من أعضاءِ جهازِ المناعةِ دورٌ خاصٌّ بهِ في الدفاعِ عن الجسمِ ضدَّ مسبِّباتِ المرضِ. فنخاعُ العظمِ، داخلَ العظامِ الطويلةِ، يُنتِجُ بلايينَ الخلايا اللمفيَّةِ الجديدةِ التي يحتاجُ إليها الجسمُ يوميًّا. أما **الغدَّةُ الزعتريَّةُ Thymus**، وهي تقعُ خلفَ عظمةِ القصِّ في القفصِ الصدريِّ في أعلى القلبِ، فتساهمُ في إنتاجِ نوعٍ خاصٍّ من الخلايا اللمفيَّةِ.



الشكل 3-5
تتعرفُ خلايا جهازِ المناعةِ الموادَّ الغريبيةَ في الجسمِ وتهاجمُها.

تنتشرُ العقدُ اللمفيَّةُ في الجسمِ على طولِ الأوعيةِ اللمفيَّةِ. وهي تحتوي على خلايا لمفيَّةٍ (تذكرْ أن الجهازَ اللمفيَّ يجمعُ السائلَ الراشحَ، أي اللمفَ، من الدم). تجمعُ العقدُ اللمفيَّةُ مسبِّباتِ المرضِ من اللمفِ وتبرزُها للخلايا اللمفيَّةِ. يقومُ **الطحالُ Spleen**، وهو أكبرُ الأعضاءِ اللمفيَّةِ، بتخزينِ خلايا الدمِ الحمراءِ السليمةِ وتفكيكِ خلايا الدمِ الحمراءِ القديمةِ، كما يساهمُ في تطوُّرِ الخلايا اللمفيّةِ وأنواعٍ أخرى من خلايا الدمِ البيضاءِ. كذلكَ يجمعُ الطحالُ مسبِّباتِ المرضِ من الدمِ فتهاجمُها الخلايا اللمفيَّةُ الموجودةُ فيه.

والخلايا اللمفيَّةُ نوعانِ: الخلايا B والخلايا T. تُنتَجُ **الخلايا B**، B cells، في نخاعِ العظمِ وتُكمِلُ نموَّها فيه، أما **الخلايا T**، T cells، فتُنتَجُ في نخاعِ العظمِ أيضًا، إلاّ أنها تُكمِلُ نموَّها في الغدَّةِ الزعتريَّةِ بعدَ الانتقالِ إليها.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

مولِّدُ الضدِّ

antigen

منَ اليونانيّةِ anti ومعناها «ضد»، و gen ومعناها «إنتاج»

تعرُّفُ مسبِّباتِ المرضِ

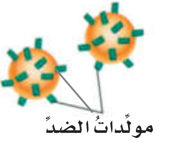
تستطيعُ الخلايا اللمفيَّةُ توفيرَ الدفاعاتِ الخاصّةِ، لأنها تتعرَّفُ الموادَّ الغريبةَ التي تغزو الجسمَ. **ومولِّدُ الضدِّ Antigen**، يمكنُ أن يكونَ أيَّ مادَّةٍ يتعرَّفُها جهازُ المناعةِ ويتفاعلُ معها. وهو الذي يجعلُ الخلايا اللمفيَّةَ تتفاعلُ، كما يبيِّنُ الشكلُ 3-6 أ. يوجدُ عدَّةُ أنواعٍ من مولِّداتِ الضدِّ، منها مسبِّباتُ المرضِ أو أجزاءٌ منها، والسمومُ البكتيريَّةُ، وسمُّ الحشراتِ، وحبوبُ اللّقاحِ، وأيُّ جزءٍ غريبٍ في جسمِ الفردِ، كجزيءِ زرعِ نسيجٍ منقولٍ غيرِ متوافقٍ أو دمٍ منقولٍ من فصيلةِ دمٍ مُعْطٍ لا تتوافقُ مع فصيلةِ دمِ مستقبِلٍ. وعندما تتعرَّفُ الخلايا اللمفيَّةُ مولِّدَ الضدِّ تلتحمُ بهِ وتباشرُ الدفاعَ الخاصَّ. وتسمّى استجابةُ الجسمِ ضدَّ مولِّدِ الضدِّ **الاستجابةَ المناعيَّةَ Immune response**.

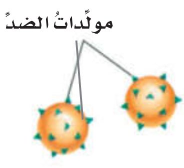
كيفَ تتعرَّفُ الخلايا اللمفيَّةُ مولِّداتِ الضدِّ؟ يوجدُ على سطحِ الغشاءِ الخلويِّ من كلِّ خليَّةٍ لمفيَّةٍ مستقبلاتٌ بروتينيَّةٌ فريدةٌ، الشكلُ 3-6 ب. تتعرّفُ هذهِ المستقبلاتُ البروتينيَّةُ مولِّداتِ الضدِّ التي ترتبطُ بها إذا كانت متمِّمةً لها من حيثُ الشكلُ الثلاثيُّ

الشكل 3-6

(أ) توجدُ مولِّداتُ الضدِّ على أسطحِ مسبِّباتِ المرضِ. (ب) للبروتيناتِ المستقبلةِ عندَ أسطحِ الخلايا اللمفيَّةِ (مثل الخلايا B الظاهرة هنا) تركيبٌ معقَّدٌ ثلاثيُّ الأبعادِ. (ج) باستطاعةِ المستقبلاتِ أن ترتبطَ بمولِّداتِ الضدِّ ذاتِ الشكلِ المتمِّمِ لها.

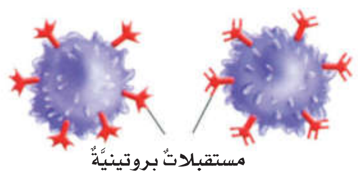
مسبِّباتُ المرضِ

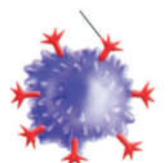




(أ) الكثيرُ من مسببات المرض مغطًّى بجزيئاتٍ تعملُ كمولِّداتِ ضدٍّ، وتجعلُ الخلايا اللمفيَّةَ تتفاعلُ.

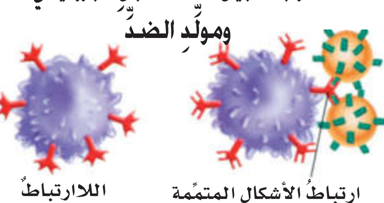
خلايا لمفيَّةٌ





(ب) للخليَّةِ اللمفيَّةِ مستقبلاتٌ بروتينيَّةٌ عندَ كاملِ سطحِها. لاحظِ الأشكالَ المختلفةَ للمستقبلاتِ البروتينيَّةِ، عندَ أسطحِ الخلايا اللمفيَّةِ المختلفةِ. جميعُ المستقبلاتِ البروتينيَّةِ لدى الخليَّةِ اللمفيَّةِ الفرديَّةِ هي ذاتُ شكلٍ واحدٍ وفريدٍ.

الارتباطُ بينَ المستقبلِ البروتينيِّ ومولِّدِ الضدِّ



(ج) المستقبلاتُ البروتينيَّةُ عندَ كلِّ خليَّةٍ لمفيَّةٍ ترتبطُ بمولِّداتِ الضدِّ ذاتِ الأشكالِ المتمِّمةِ لها. فإذا لم يكن للمستقبلاتِ البروتينيَّةِ للخليةِ اللمفيةِ مولِّداتُ ضدٍّ ذاتُ أشكالٍ متمِّمةٍ لها، فإنها لا ترتبطُ بمولِّدِ الضدِّ (أعلى اليسار).

الأبعادِ، الشكل 3-6 ج. يمكنُ لسطحِ خليَّةٍ بكتيريَّةٍ، مثلاً، أن يكونَ مغطًّى بأنواعٍ عديدةٍ ومختلفةٍ من الجزيئاتِ، فيستطيعُ كلٌّ منها أن يعملَ كمولِّدِ ضدٍّ وأن يجعلَ الخلايا اللمفيَّةَ تتفاعلُ. وبما أن كلَّ المستقبلاتِ، عندَ سطحِ خليَّةٍ لمفيَّةٍ واحدةٍ، تتَّصفُ بالشكلِ والنوعِ نفسِه، فهي لذلكَ ترتبطُ بمولِّدِ الضدِّ نفسِه.

يستطيعُ الجسمُ الدفاعَ عن ذاتِه ضدَّ عددٍ ضخمٍ من مولِّداتِ الضدِّ المختلفةِ، لأن جهازَ المناعةِ يُنتجُ بلايينَ الأنواعِ المختلفةِ من الخلايا اللمفيَّةِ. ويحملُ كلُّ نوعٍ منها مستقبلاتٍ فريدةً تخصُّهُ. إن خصوصيَّةَ أو نوعيَّةَ الاستجابةِ المناعيَّةِ تَنتجُ عن خصوصيَّةِ أو نوعيَّةِ مستقبلاتِ مولِّدِ الضدِّ عندَ الخلايا اللمفيَّةِ، فمثلاً، عندما يدخلُ فيروسُ الزكامِ إلى الجسمِ تستجيبُ الخلايا المناعيَّةُ ذاتُ المستقبلاتِ المتمِّمةِ لشكلِ مولِّداتِ الضدِّ الموجودةِ عندَ فيروسِ الزكامِ الخاصِّ بتلكَ الخلايا. أما الخلايا اللمفيَّةُ ذاتُ الأنواعِ الأخرى من المستقبلاتِ، كالتي يرتبطُ بها فيروسُ الأنفلونزا، مثلاً، فإنها لا تستجيبُ.

الاستجابةُ المناعيَّةُ

الاستجابةُ المناعيَّةُ هي النشاطُ الذي يقومُ به جهازُ المناعةِ لمحاصرةِ وتدميرِ مسبِّباتِ المرضِ، وتشتملُ في الوقتِ نفسِه على الاستجابةِ المناعيَّةِ الخلويَّةِ والاستجابةِ المناعيَّةِ الإفرازيَّةِ اللتينِ تتطلبانِ وجودَ خليَّةٍ لمفيَّةٍ تسمّى **الخليَّةَ T المساعدةَ، Helper T cell**. تبيِّنُ الخطواتُ 1، 2، 3، في الشكلِ 3-7 في الصفحةِ التاليةِ، كيفَ تنشأُ الاستجابةُ المناعيَّةُ. في الخطوةِ الأولى، تطوِّقُ بلعميَّةٌ كبيرةٌ مسبِّبَ المرضِ وتبتلعُهُ، ثمَّ تُبرزُ قطعةً منهُ عندَ سطحِ غشائِها الخلويِّ. عندما ترتبطُ البلعميَّةُ الكبيرةُ بالخليَّةِ T المساعدةِ ذاتِ المستقبِلِ المتمِّمِ لمولِّدِ الضدِّ، تُفرزُ الخليَّةُ البلعميّةُ سايتوكينًا يسمّى *الإنترلوكين 1، Interleukin-1*. إن السايتوكينات بروتينات يمكنها أن تؤثر على سلوك خلايا مناعيّة أخرى. كما أن إفراز الإنترلوكين 1 من قبل البلعميّة الكبيرة ينشط كثيرًا من الخلايا T المساعدة والتي تُفرزُ سايتوكينًا ثانيًا هو الإنترلوكين 2.

الاستجابةُ المناعيَّةُ الخلويَّةُ

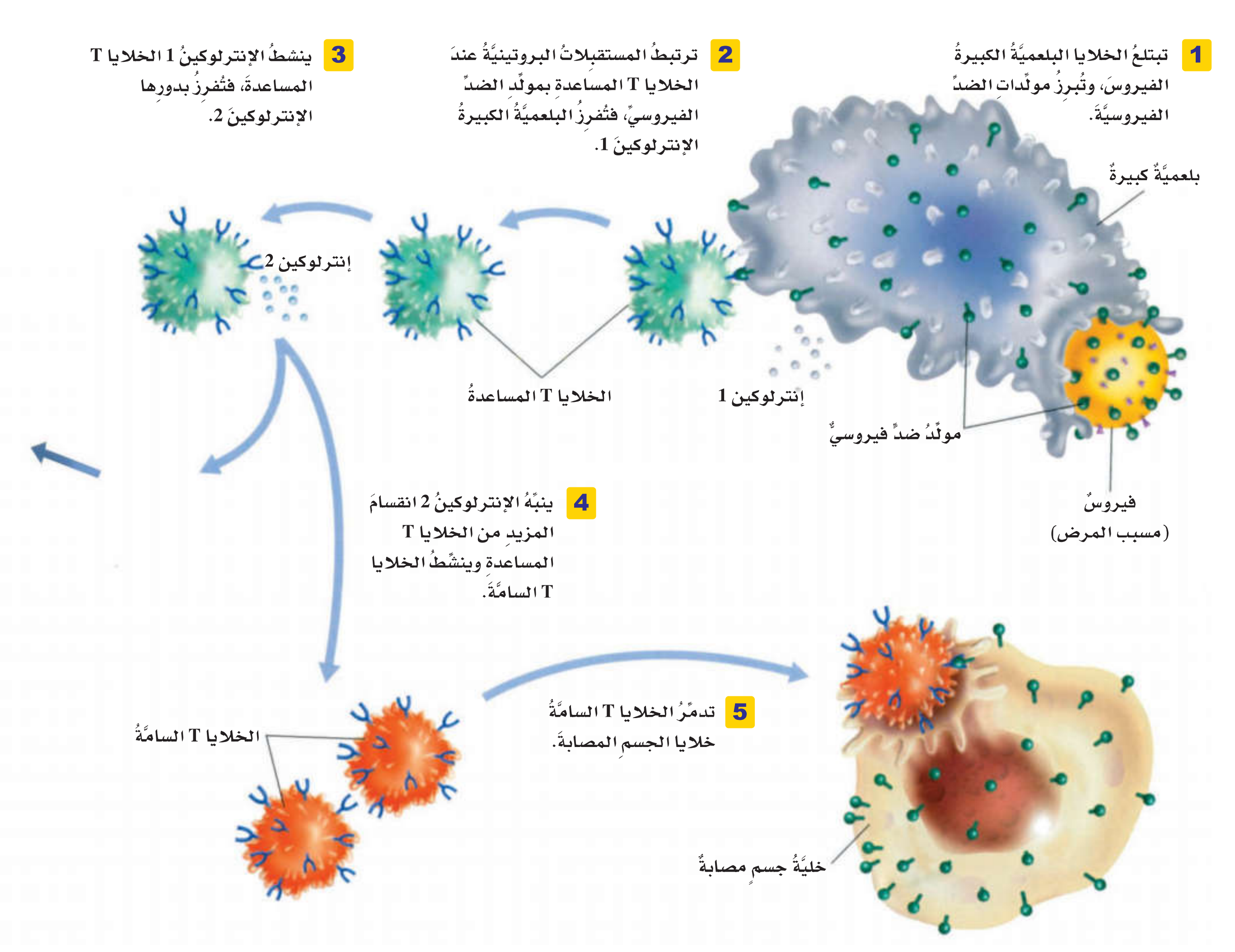
يوجدُ أكثرُ من نوعٍ واحدٍ من الخلايا T التي تحقِّقُ **الاستجابةَ المناعيَّةَ الخلويَّةَ Cell-mediated immune response**. الإنترلوكين 2 ينشِّطُ **الخلايا T السامّةَ Cytotoxic T cell** فتتعرَّفُ الخلايا المصابةَ بالمرضِ وتدمِّرُها. ويمكنُ التعرُّفُ إلى الخلايا المصابةِ لأنها تحملُ، عادةً، عندَ أسطحِها بعضاً من مولِّداتِ الضدِّ لمسبِّبِ المرضِ، كما هو مبيَّنٌ في الشكلِ 3-7. وعند الخلايا T السامَّةِ مستقبلاتٌ متمِّمةٌ لمولِّدِ الضدِّ. تلتصقُ الخليَّةُ T السامّةُ بالخليَّةِ المصابةِ عن طريقِ ارتباطِ مستقبلاتِها بمولدِ الضدِّ البارزِ من الخليَّةِ المصابةِ، فتُثقِّبُ غشاءَها الخلويَّ وتقتلُها. وتستطيعُ الخلايا T السامّةُ أن تقتلَ أيضًا الخلايا السرطانيَّةَ وأن تهاجمَ الطفيليّاتِ والأنسجةَ الغريبةَ.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

السايتوكين

cytokine

منَ اليونانيّةِ kytos ومعناها «وعاءٌ أجوَفٌ»، أو «خليّةٌ»، و kinesis ومعناها «الحركةُ»

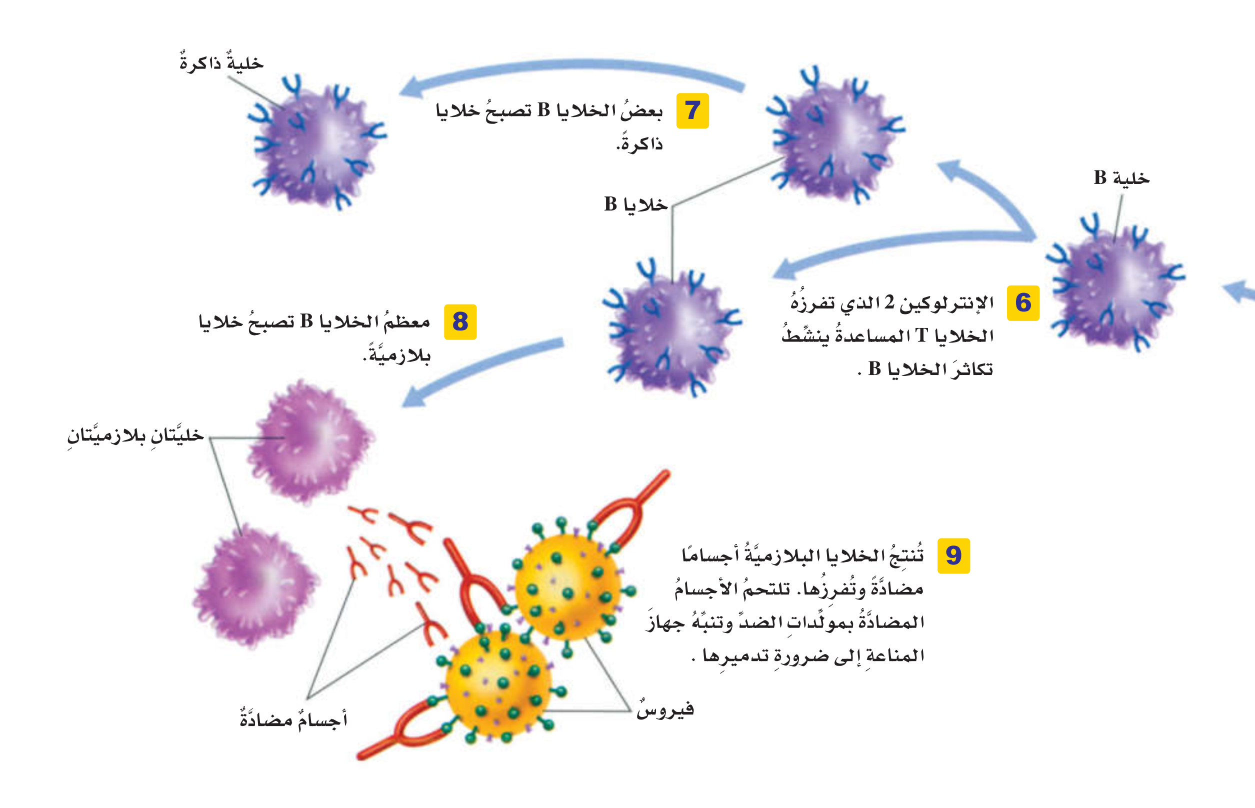


الشكل 3-7
خطواتُ الاستجابةِ المناعيَّةِ.

ويوجدُ نوعٌ آخرُ من الخلايا T، يعرفُ باسمِ *الخلايا T المثبِّطةِ Suppressor T cells*، وهي ذاتُ دورٍ في الاستجابةِ المناعيَّةِ الخلويَّةِ. ويُعتقدُ أنها تُسهمُ في منعِ الاستجابةِ المناعيَّةِ بعد التخلُّصِ من مسبِّبِ المرضِ وإزالتِهِ من الجسمِ. توضحُ الخطوتانِ 4 و 5، في الشكلِ 3-7، الاستجابةَ المناعيَّةَ الخلويَّةَ.

الاستجابةُ المناعيَّةُ الإفرازيَّةُ

بالتزامنِ مع حدوثِ الاستجابةِ المناعيَّةِ الخلويَّةِ، تجري **استجابةٌ مناعيَّةٌ إفرازيَّةٌ Humoral immune response** تقومُ بها الخلايا B. وتبدأُ الاستجابةُ الخلويَّةُ، كما في الاستجابةِ المناعيَّةِ الخلويَّةِ، عندما تبتلعُ البلعميَّةُ الكبيرةُ مسبِّباتِ المرضِ، فتنشِّطُ الخلايا T المساعدةَ فتُفرزُ هذه الإنترلوكينَ 2، الإنترلوكينُ 2 ينشِّطُ الخلايا B التي تحملُ على أسطحِها مستقبلاتٍ متمِّمةً لمولِّدِ الضدِّ، ويجعلُها تتكاثرُ وتتحوّلُ إلى **خلايا بلازميَّةٍ Plasma cells**. هذهِ الخلايا متخصِّصةٌ، تصنعُ بروتيناتٍ دفاعيَّةً تسمّى **الأجسامَ المضادَّةَ Antibodies** وتُفرزُها في الدمِ. والأجسامُ المضادَّةُ جزيئاتٌ على شكلِ الحرفِ Y. فالذراعانِ من كلِّ Y متطابقانِ. وعند طرفِ كلِّ ذراعٍ يوجدُ مستقبلٌ يمكنُ أن يرتبطَ بهِ مولِّدُ ضدٍّ معيَّنٍ. وتستطيعُ الخلايا البلازميَّةُ أن تنتجَ حواليَّ 30,000 جزيءِ جسمٍ مضادٍّ في الثانيةِ.

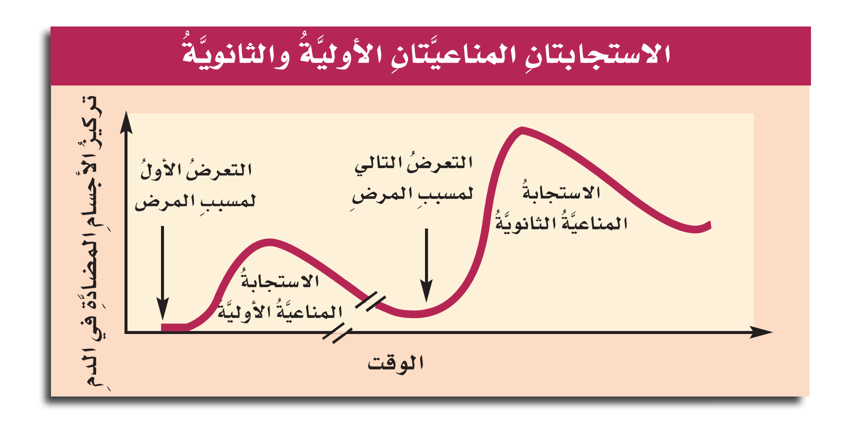


ترتبطُ الأجسامُ المضادّةُ بمسبِّباتِ المرضِ والسمومِ، فتوقفُ نشاطَها وتدمِّرُها بطريقةٍ غيرِ مباشرةٍ بواسطةِ الدفاعاتِ العامَّةِ. فعلى سبيلِ المثالِ، ترتبطُ الأجسامُ المضادَّةُ بالبروتيناتِ السطحيَّةِ لفيروسٍ معيّنٍ، فتمنعُهُ من دخولِ الخليَّةِ وتمنعُ تكاثرَهُ. كذلكَ تتسبَّبُ الأجسامُ المضادَّةُ في تكتُّلِ مسبِّباتِ المرضِ، وهو ما يساعدُ البلعميّاتِ الكبيرةَ على ابتلاعِها. يُنشِّطُ ارتباطُ مولِّدِ الضدِّ بالجسمِ المضادِّ النظامَ المتمِّمَ أيضًا، فتثقبُ البروتيناتُ المتمِّمةُ أغشيةَ الخلايا المسبِّبةِ للمرضِ وتجعلُها تنفجرُ. الاستجابةُ المناعيَّةُ الإفرازيَّةُ مبيّنةٌ في الخطواتِ 6 - 9 ، في الشكلِ 3-7.

الاستجابةُ المناعيَّةُ الأوليَّةُ والثانويَّةُ

تتوقفُ الاستجابةُ المناعيَّةُ حالما يتغلَّبُ الجسمُ على إصابةٍ، إلاّ أن بعضَ الخلايا الذاكرةِ تبقى موجودةً في الجسمِ. **والخلايا الذاكرةُ Memory cells** خلايا لمفيَّةٌ لا تستجيبُ إذا صادفتْ مولِّدَ ضدٍّ أو خليَّةً مهاجِمةً لأوَّلِ مرَّةٍ، لكنَّها تتعرَّفُهما وتهاجِمُهما عندَ حدوثِ إصاباتٍ لاحقةٍ.

توفِّرُ الخلايا الذاكرةُ حمايةً للجسمِ من إعادةِ إصابتِهِ بمسبِّبِ المرضِ نفسِهِ تمتدُّ لفترةٍ زمنيّةٍ طويلةٍ. فعندَما تصادفُ مسبِّبَ المرضِ نفسَهُ للمرَّةِ الثانيةِ تتعرَّفُهُ على الفورِ وتباشرُ انقسامًا خلويًّا سريعًا يؤدي إلى ارتفاعِ كمِّيَّةِ الأجسامِ المضادَّةِ، ويتمُّ التخلُّصُ من مسبِّبِ المرضِ بسرعةٍ، فلا تعودُ أعراضُهُ تظهرُ. عندما يواجه الجسمُ مولِّدَ ضدٍّ، للمرةِ الأولى، تسمّى استجابتُهُ *الاستجابةَ المناعيَّةَ الأوليَّةَ Primary immune response*. أما استجابةُ الخلايا الذاكرةِ لإصابةٍ لاحقةٍ بمسبِّبِ



الشكل 3-8
مقارنةٌ بينَ كميَّتَي الأجسامِ المضادَّةِ اللتينِ تنتجا عن الاستجابتينِ المناعيَّتينِ، الاستجابةِ المناعيَّةِ الأوليَّةِ والاستجابةِ المناعيَّةِ الثانويَّةِ اللتينِ تظهرانِ في الرسمِ البيانيِّ.

نشاطٌ عمليٌّ سريعٌ

تنظيمُ الاستجابةِ المناعيَّةِ

الموادُّ ورقٌ، قلمُ رصاصٍ.

الإجراءُ نفِّذْ رسمًا تخطيطيًّا أو خريطةَ مفاهيمَ تلخِّصُ خطواتِ الاستجابةِ المناعيَّةِ وتتضمنُ أسماءَ الخلايا المعنيَّةِ.

التحليلُ ما الخلايا المساعدةُ؟ ما الاختلافُ بينَ الاستجابةِ المناعيَّةِ الخلويَّةِ والاستجابةِ المناعيَّةِ الإفرازيَّةِ؟

المرضِ نفسِهِ فتسمّى *الاستجابةَ المناعيَّةَ الثانويَّةَ Secondary immune response*. إن الاستجابةَ المناعيَّةَ الثانويَّةَ أسرعُ وأقوى بكثيرٍ، فهي تُنتجُ عددًا أكبرَ من الأجسامِ المضادَّةِ، كما هو مبيَّنٌ في الرسمِ البيانيِّ في الشكلِ 3-8. تذكَّرْ أن الخلايا الذاكرةَ تحمي فقط من مسبِّباتِ المرضِ التي سبقَ أن صادفَتْها. أما الزكامُ والأنفلونزا فلا ينطبقُ عليهما ذلكَ، لأن فيروساتِهما معرَّضةٌ لطفراتٍ بنسبةٍ مرتفعةٍ، وتحملُ دائمًا مولِّداتِ ضدٍّ جديدةٍ.

المناعةُ والتطعيمُ

المناعةُ Immunity هي قدرةُ الجسمِ على مقاومةِ مرضٍ مُعدٍ. فالفردُ الذي يقاومُ جسمُهُ مسبِّبَ مرضٍ يوصفُ بأنهُ ذو مناعةٍ. ولكي يكتسبَ الفردُ مناعةً ضدَّ مسبِّبِ المرضِ، يجبُ أن يكونَ قد أُصيبَ بهِ، وأن يحقِّقَ جسمُهُ استجابةً مناعيَّةً أوليَّةً وأن ينجوَ من المرضِ. وهناكَ وسيلةٌ أخرى أكثرُ أمانًا لاكتسابِ المناعةِ هي **التطعيمُ Vaccination**، أي إدخالُ مولِّداتِ الضدِّ إلى الجسمِ ليحقِّقَ المناعةَ. ويتمثلُ التطعيمُ عادةً في حقنِ لقاحٍ تحتَ الجلدِ.

اللَّقاحاتُ

اللَّقاحُ Vaccine محلولٌ يحتوي على مسبِّبِ مرضٍ ميتٍ أو جرى إضعافُهُ، أو على أجزاءٍ منهُ لا تزالُ تحتفظُ بمولِّداتِ الضدِّ. فعندَ إدخالِ اللَّقاحِ، يُحدِثُ الجسمُ استجابةً مناعيَّةً أوَّليَّةً لمولِّداتِ الضدِّ الموجودةِ في اللَّقاحِ. وباستطاعةِ الخلايا الذاكرةِ، التي تبقى في الجسمِ بعدَ الاستجابةِ الأوَّليَّةِ، أن توفِّرَ استجابةً مناعيَّةً ثانويَّةً سريعةً إذا دخلَ مولِّدُ الضدِّ إلى الجسمِ مرّةً ثانيةً، الشكلُ 3-8.

ومنَ الأمراضِ التي تمَّ التحكُّمُ بها عن طريقِ اعتمادِ اللَّقاحاتِ شللُ الأطفالِ، والحصبةُ، والنكافُ (الخازباز)، والكزازُ، والدفتيريا. وفي بعضِ الأحيانِ تضعفُ معَ مرورِ الزمنِ الوقايةُ التي توفِّرُها اللَّقاحاتُ. لذا يوصي الأطباءُ باعتمادِ *الجرعاتِ المنشِّطةِ Booster shots* لاستعادةِ المناعةِ ضدَّ بعضِ الأمراضِ، كالكزازِ وشللِ الأطفالِ.

تطويرُ اللَّقاحِ

منذ قرونٍ خلتْ، سعى الأطباءُ إلى فهمِ كيفيَّةِ اكتسابِ المناعةِ، عن طريقِ تعريضِ أفرادٍ سليمينَ وأصحَاءَ لموادَّ مستخرجةٍ من بثراتٍ ظاهرةٍ لدى مصابينَ بمرضِ الجُدَريِّ. هذه التقنيَّةُ تُسمَّى التطعيمَ بالفيروسِ *Variolation*، وقد شهدتْ نجاحًا محدودًا، لكنَّها كانت ذاتَ وقعٍ تاريخيٍّ هائلٍ. في أوائلِ القرنِ الثامنَ عشرَ، شاهدتِ امرأةٌ انجليزيَّةٌ التقنيَّةَ التي كانتْ معتمدةً في تركيا، فقدَّمتْ وصفًا لها إلى الأطبَّاءِ الإنجليزِ الذين قاموا بتجربتِها على الأطفالِ، وكان إدوارد جينر *Edward Jenner*، مبتكرُ التطعيمِ نفسُهُ، واحدًا من هؤلاءِ الأطفالِ.

قام الطبيبُ الإنجليزيُّ إدوارد جينر، في أواخرِ القرنِ الثامنَ عشرَ، بأبحاثٍ حولَ مرضِ جُدَريِّ البقرِ، وهو مرضٌ غيرُ مؤذٍ نسبيًّا. وعلمَ أن حالباتِ الأبقارِ غالبًا ما كنَّ يصبنَ بجدريِّ البقرِ. وكان قد سمعَ أيضًا بأن الحالباتِ اللّواتي يصبنَ بجدريِّ البقرِ كنَّ قد اكتسبنَ مناعةً ضدَّ جدريِّ الإنسانِ. رأى جينر أن هناكَ صلةً بين التعرُّضِ لجدريِّ البقرِ واكتسابِ المناعةِ ضدَّ جدريِّ الإنسانِ. فافترضَ أن التعرُّضَ لمسبِّبِ مرضِ جدريِّ البقرِ يكسِبُ الفردَ مناعةً ضدَّ مسبِّبِ مرضِ جدريِّ الإنسانِ أيضًا. فاختبرَ فرضيَّتَهُ، وكانَ ذلكَ في العامِ 1796. استخرجَ موادَّ من بثراتِ حالبةٍ مصابةٍ بجدريِّ البقرِ وحقَنَها في جسمِ صبيٍّ في سنِّ الثامنةِ من العمرِ. وبعد انقضاءِ شهرين على ذلكَ، حقنَ جينر الصبيَّ بموادَّ مستخرجةٍ من بثراتِ مريضٍ مصابٍ بجدريِّ الإنسانِ، فبقي الصبيُّ سليمًا معافى، حتى بعدَ حقنِهِ بتلكَ الموادِّ مرارًا. واليومَ، يمكنُ اعتبارُ تجربةِ جينر غيرَ أخلاقيَّةٍ، غيرَ أن ملاحظاتِهِ أدتْ إلى إنقاذِ ملايينِ الأرواحِ عن طريقِ التطعيمِ.

كان تقدُّمُ العلومِ والطبِّ بطيئًا قبلَ القرنِ العشرينَ، ولم تُثِرْ عمليَّةُ التطعيمِ الاهتمامَ إلا بعد أن أدركَ العلماءُ أن الجراثيمَ هي التي تسبِّبُ المرضَ. في عامِ 1881 نجحَ لويس باستور Louis Pasteur في تطعيمِ الخرافِ ضدَّ الجمرةِ الخبيثةِ. وفي العامِ 1885 حقنَ صبيًّا بفيروسِ داءِ الكلبِ لحمايتِهِ من الإصابةِ بالمرضِ. فأسهمَ هذا العملُ في تفسيرِ عمليَّةِ التطعيمِ، وبدأ العلماءُ في أنحاءِ العالمِ يبحثونَ عن مسبِّباتِ المرضِ ويحاولونَ صنعَ اللَّقاحاتِ ضدَّهُ. وفي أوائلِ سبعينياتِ القرنِ العشرينَ تمَّتْ صناعةُ لقاحاتٍ ضدَّ أمراضِ الدفتيريا والسُّعالِ الدّيكيِّ والكزازِ والحصبةِ وشللِ الأطفالِ والنكافِ والحصبةِ الألمانيَّةِ.

وسرعانَ ما اكتشفَ الباحثونَ أن جهازَ المناعةِ يستطيعُ أن يتعرّفَ جزءًا صغيرًا جدًّا من مسبِّبِ المرضِ وينتجُ مع ذلك أجسامًا مضادَّةً. وفي حدودِ عامِ 1986 صنعَ العلماءُ لقاحًا ضدَّ التهابِ الكبدِ، B، مُعادِ التركيبِ، باستخدامِ كائناتٍ حيَّةٍ غيرِ مؤذيةٍ جرى تعديلُها جينيًّا لتصبحَ قادرةً على إنتاجِ بروتينٍ فيروسيٍّ. وعلى عكسِ اللقاحاتِ السابقةِ التي كانت تتسبَّبُ في المرضِ ولو نادرًا، فإن اللَّقاحَ الجديدَ هذا لم يتسبَّبْ في حدوثِ المرضِ.

والأبحاثُ تركِّزُ حاليًّا جهدَها في اللقاحاتِ، للتغلُّبِ على مسبِّباتِ المرضِ التي تؤدي إلى تفشّي مرضٍ جديدٍ ينتشرُ في أنحاءِ العالمِ، كفيروسِ HIV، وفيروسِ إيبولا، وفيروسِ كورونا المسبِّبِ لمتلازمةِ التنفُّسِ الحادِّ جدًّا، SARS. كذلك يعملُ الباحثونَ على تحسينِ اللقاحاتِ المتوفِّرةِ أمثالِ لَقاحِ الجُدَريِّ ولَقاحِ الجمرةِ الخبيثةِ.

اختلالاتٌ في جهازِ المناعةِ

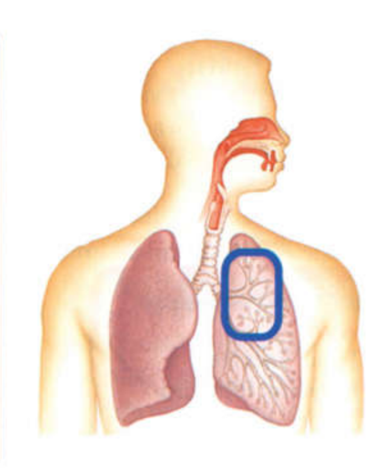
يتفاعلُ جهازُ المناعةِ مع مولِّداتِ ضدٍّ غيرِ مؤذيةٍ بطريقةٍ تكونُ أحيانًا ضارّةً. ومن الأمثلةِ على الاختلالاتِ في جهازِ المناعةِ: الحساسيَّةُ والربوُ وأمراضُ المناعةِ ضدَّ الذاتِ.

الحساسيَّةُ

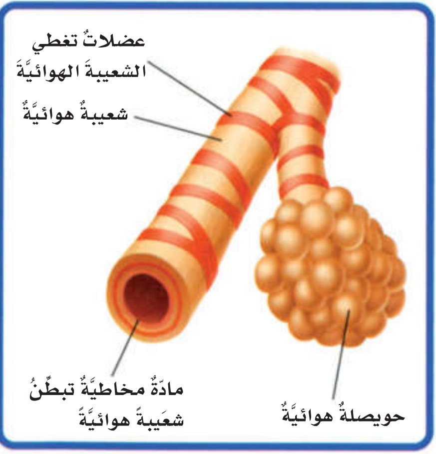
الحساسيَّةُ Allergy هي استجابةٌ مناعيَّةٌ ضدَّ موادَّ متنوِّعةٍ في المحيطِ البيئيِّ. مولِّدُ الضدِّ هنا ليس مسبِّبَ مرضٍ، إنما هو مادَّةٌ تسبِّبُ استجابةً لدى قلةٍ من الناسِ، وليسَ لدى الجماعةِ الأحيائيَّةِ كلِّها. ومن مسبِّباتِ الحساسيَّةِ حبوبُ اللَّقاحِ، وشعرُ الحيوانِ (قشور الجلد)، والأطعمةُ، وأبواغُ الفطريّاتِ، والعثَّةُ الموجودةُ في الغبارِ. أما أعراضُ الحساسيَّةِ فتكونُ عادةً معتدلةً، وتتضمَّنُ إفرازاتِ المخاطِ والدمعَ والعطاسَ والسعالَ والانتفاخَ الذي يتسبَّبُ في الحُكاكِ. وقد يشكو بعضُ الأشخاصِ من تفاعلاتٍ تحسُّسيَّةٍ شديدةٍ، تهدِّدُ حياتَهم. وينتجُ الكثيرُ من أعراضِ الحساسيَّةِ بسببِ ما تفرزُهُ من الهستامينِ خلايا سبقَ أن تعرضتْ لمولِّدِ الضدِّ. تساعدُ العقاقيرُ المضادَّةُ للهستامينِ على إبطالِ تأثيراتِ الهستامينِ فتزيلُ بعضَ أعراضِ الحساسيَّةِ.

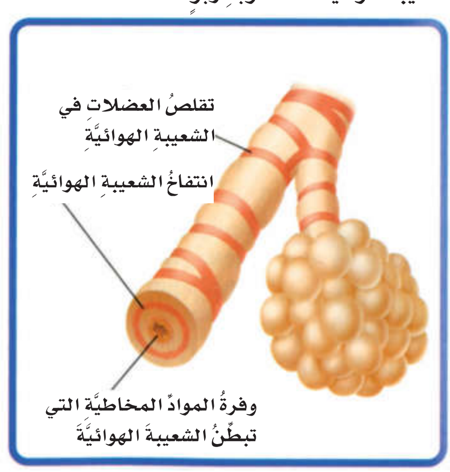
الربوُ

قد تتسبَّبُ الحساسيَّةُ أيضًا في **الربوِ Asthma**، وهو اختلالٌ تنفُّسيٌّ ينتجُ عنهُ ضيقُ الشعَيْباتِ الهوائيَّةِ (القنواتِ الهوائيِّةِ في الرئتَيْنِ). تَحدُثُ نوباتُ الربوِ عندما تتقلَّصُ العضلاتُ في الشعَيْباتِ الهوائيَّةِ استجابةً لمادَّةٍ معيَّنةٍ موجودةٍ في الهواءِ، الشكل 3-9، كدخانِ السجائرِ، *والموادِّ التحسُّسيَّةِ Allergen*، مثل شعرِ الحيواناتِ (قشور الجلد). أثناءَ نوبةِ الربوِ يمكنُ أن يحدثَ انتفاخٌ والتهابٌ في بطانةِ الشعيباتِ الهوائيَّةِ وفي أنسجةٍ تنفُّسيَّةٍ أخرى، مما يجعلُ الحركةَ التنفسيَّةَ صعبةً، تصحَبُها أعراضُ كضيقِ التنفُّسِ والصفيرِ التنفُّسيِّ والسعالِ. إن نوباتِ الربوِ خطيرةٌ، فالكثيرُ من الناسِ يموتونَ بسببِ الربوِ كلَّ عامٍ.



الشكل 3-9
في أثناءِ نوبةِ الربوِ، تتقلَّصُ العضلاتُ التي تغطي الشعيباتِ الهوائيَّةَ، وتلتهبُ الأنسجةُ التنفُّسيَّةُ وتنتفخُ، فيحدثُ إفرازٌ وافرٌ للمادَّةِ المخاطيَّةِ في القنواتِ التنفُّسيَّةِ، وهو ما يؤدِّي إلى صعوبةِ التنفُّسِ.





الجدولُ 2-3 أمراضُ المناعةِ ضدَّ الذاتِ، ومكانُ الإصابةِ، والأعراضُ

المرضُ	مكانُ الإصابةِ	الأعراضُ
الذئبةُ الحمراءُ Lupus erythematosus	النسيجُ الضامُّ في الجسمِ	طفحٌ جلديٌّ في الوجهِ، ألمٌ في المفاصلِ، حمّى، تعبٌ ومشكلاتٌ كلويّةٌ، نقصانُ الوزنِ
مرضُ السكريِّ من النوعِ I Type I diabetes	الخلايا المنتجةُ للأنسولينِ في البنكرياسِ	وفرةُ إنتاجِ البولِ، عطشٌ شديدٌ، نقصانُ الوزنِ، تعبٌ، تشوُّشٌ ذهنيٌّ
التهابُ المفاصلِ الروماتيديُّ Rheumatoid arthritis	المفاصلُ	ألمٌ والتهابٌ في المفاصلِ، يتسبَّبُ في العَرَجِ
الصدفيَّةُ Psoriasis	الجلدُ	بُقَعٌ جلديَّةٌ جافّةٌ صدفيّةُ الشكلِ وحمراءُ اللونِ

أمراضُ المناعةِ ضدَّ الذاتِ

المرضُ الذي يهاجمُ فيه جهازُ المناعةِ في الجسمِ خلايا الجسمِ نفسِهِ يسمّى **مرضَ المناعةِ ضدَّ الذاتِ Autoimmune disease**. إن خلايا الجسمِ اللمفيَّةَ التي تتعرَّفُ خلايا الجسمِ نفسِهِ وتتفاعلُ معها تتمُّ إزالتُها عادةً قبلَ نموِّها، أيْ قبلَ أن تصبحَ فاعلةً. إلا أنه لا يتمُّ عندَ بعضِ الأشخاصِ إزالةُ هذه الخلايا، فتهاجمُ خلايا الجسمِ نفسِهِ، إذ تعتبرُها خلايا غريبةً عنهُ، فينتجُ عن ذلكَ أمراضٌ خطيرةٌ ضدَّ الذاتِ.

تصيبُ أمراضُ المناعةِ ضدَّ الذاتِ أنواعًا مختلفةً من الأعضاءِ والأنسجةِ في أماكنَ مختلفةٍ من الجسمِ. إن مرضَ *التصلُّبِ المتضاعفِ Multiple sclerosis* الذي يصيبُ الأنسجةَ العصبيَّةَ هو مرضُ مناعةٍ ضدَّ الذاتِ يصيبُ الجهازَ العصبيَّ في مرحلةِ الشبابِ. في هذا المرضِ تهاجمُ الخلايا T المادَّةَ العازلةَ التي تحيطُ بالخلايا العصبيَّةِ للدماغِ والحبلِ الشوكيِّ والأعصابِ التي تصلُ بين العينينِ والدماغِ، وتدمِّرُها ببطءٍ. وفي الحالاتِ الحادَّةِ يكونُ من أعراضِ هذا المرضِ الشللُ والعمى. ويمكنُ أن يؤديَ التصلُّبُ المتضاعفُ إلى الموتِ. يبيِّنُ الجدولُ 2-3 بعضًا من أمراضِ المناعةِ ضدَّ الذاتِ ويصفُ أعراضَها.

مراجعةُ القسمِ 2-3

1. ما وظائفُ الطحالِ ونخاعِ العظمِ؟
2. ما مولِّدُ الضدِّ؟
3. فيمَ يختلفُ دورُ الاستجابةِ المناعيَّةِ للخلايا اللمفيَّةِ B عن دورِ الخلايا T المساعدةِ؟
4. وضِّحْ كيفَ ينشِّطُ الطعمُ المناعةَ ضدَّ مرضٍ معيَّنٍ.
5. سمِّ أحدَ أوجهِ الشبهِ وأحدَ أوجهِ الاختلافِ بينَ أمراضِ المناعةِ ضدَّ الذاتِ وبينَ الحساسيَّةِ.

تفكيرٌ ناقدٌ

6. إن الفردَ الذي أُصيبَ بالزكامِ وتعافى منهُ لا يمكنُ أن يصابَ بالأنفلونزا. هل هذا القولُ صحيحٌ؟ علِّلِ الإجابةَ.
7. هل الأبحاثُ حولَ اللّقاحاتِ تفيدُ في الوقايةِ من الأمراضِ المناعيَّةِ ضدَّ الذاتِ؟ فسِّرْ جوابَكَ.

القسم

3-3

النواتج التعليمية

▲ يوضحُ العلاقةَ بين فيروسِ HIV ومرضِ الإيدز.

● يميِّزُ بين المراحلِ الثلاث للإصابة بفيروسِ HIV.

■ يوضحُ طريقتين رئيستينِ لانتقالِ الفيروس HIV.



يحددُ كيفَ يؤثِّرُ تطوُّرُ الفيروس HIV في تطوُّرِ اللّقاحاتِ والعلاجِ.

مرضُ الإيدز

يوفِّرُ جهازُ المناعةِ، عادةً، الحمايةَ من الأمراضِ المُعديةِ. يمكنُ أن تبرزَ أهميّةُ جهازِ المناعةِ من خلالِ الأمراضِ التي لا يعملُ فيها هذا الجهازُ بالشكلِ الصحيح، في مثل مرضِ **الإيدز AIDS (متلازمةِ فقدانِ المناعةِ المكتسب Acquired Immunodefficiency Syndrome)** الذي يفقدُ معهُ جهازُ المناعةِ قدرتَهُ على مهاجمةِ مسبِّباتِ المرضِ والأمراضِ السرطانيَّة. ومرضُ الإيدز تمَّ التعرُّفُ إليه عامَ 1981. منذُ ذلكَ الوقتِ، أودى هذا المرضُ بحياةِ ما يزيدُ على 22 مليونًا من الأشخاصِ في أنحاءِ العالمِ.

تطوُّرُ الإصابةِ بفيروسِ HIV

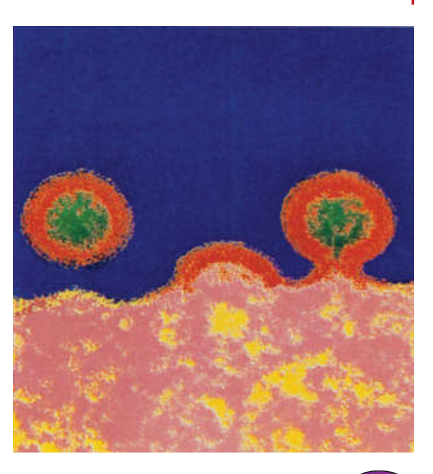
يَنتُجُ مرضُ الإيدز عن الإصابةِ بفيروسِ فقدانِ المناعةِ عندَ الإنسانِ **HIV Human Immunodeficiency Virus**. هذا الفيروسُ حالما يدخلُ إلى الدمِ، يلتصقُ بمستقبلٍ بروتينيٍّ هو CD4 الذي يوجدُ عندَ أسطحِ بعضِ الخلايا. ولكي يدخلَ فيروس HIV الخليَّةَ عليه أن يلتصقَ بمستقبلٍ آخرَ مرافقٍ لـ CD4 هو CCR5. وغالبًا ما تكونُ البلعميّاتُ الكبيرةُ أولى الخلايا التي تُصابُ بفيروسِ HIV لوجودِ المستقبل CD4 والمستقبل المرافق لهُ CCR5 على سطحِها. يتضاعفُ الفيروسُ داخلَ البلعميّاتِ الكبيرةِ وتُطلَقُ الفيروساتُ الجديدةُ إلى الخارجِ. إن دخولَ الفيروس إلى البلعميّاتِ الكبيرةِ لا يقتلُها، لكنَّهُ يبطلُ عملَها المناعيَّ. ويتسبَّبُ تضاعفُ الفيروسِ HIV في حدوثِ الكثيرِ من الطفراتِ التي تُمكِّنُ الفيروسَ من تعرُّفِ مستقبلاتٍ مرافقةٍ أخرى، كتلكَ الموجودةِ عندَ الخلايا T المساعدة.

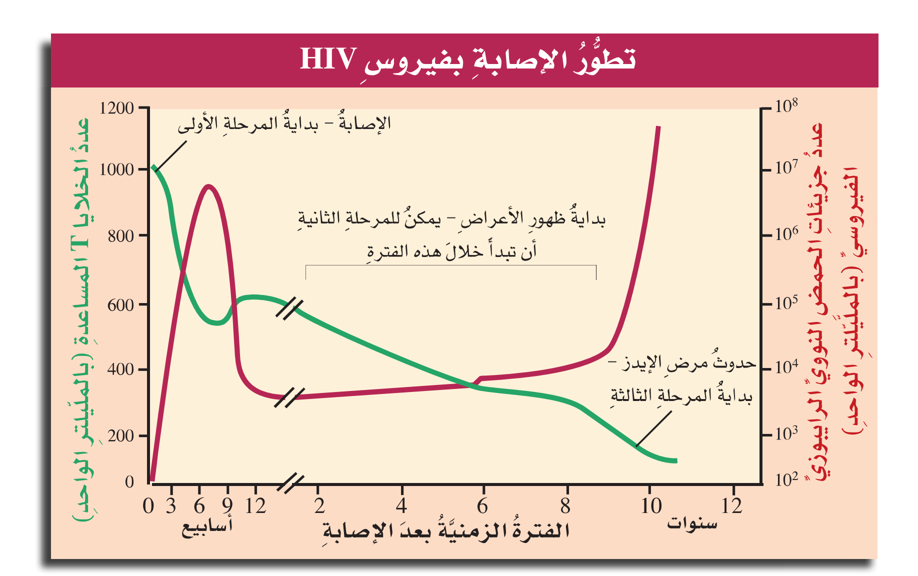
يلتصقُ الفيروسُ HIV بالخلايا T المساعدةِ ويدخُلُها ويتضاعفُ فيها، وتُطلَقُ الفيروساتُ الجديدةُ من الخليَّةِ T، كما يظهرُ في الشكلِ 3-10. بعدئذٍ، تلتصقُ تلكَ الفيروساتُ بخلايا T مساعدةٍ أخرى، مكرّرةً العمليَّةَ نفسَها. وبخلافِ ما يحدثُ للبلعميّاتِ الكبيرةِ، فإن دخولَ HIV إلى الخلايا T المساعدةِ يقتلُها ويعطِّلُ عملَ جهازِ المناعةِ. وهذا ما يؤدّي إلى حدوثِ مرضِ الإيدز. إن الإصابةَ بفيروسِ HIV لا تتحوّلُ إلى مرضِ الإيدز إلا بعدَ مرورِ المصابينَ في مراحلَ ثلاثٍ:

المرحلةُ الأولى

تسمّى المرحلةُ الأولى للإصابةِ بفيروسِ HIV مرحلةَ الحضانةِ، (لاعرضية) وهي تتميّزُ بعدمِ ظهورِ أيِّ أعراضٍ للمرضِ، أو القليلِ جدًّا منها. إلاّ أن الفيروساتِ تتضاعفُ ويزدادُ عددُها، كما هو مبيّنٌ في الشكلِ 3-11، وعندها يبدأُ جهازُ المناعةِ هجومَهُ، فتُنتِجُ الخلايا البلازميَّةُ أجسامًا مضادَّةً تهاجمُ بها الفيروسَ. ولاختبارِ وجودِ فيروسِ HIV في حالِ الإصابةِ، يلزمُ أن تكونَ الكمّيَّةُ المنتجةُ من الأجسامِ المضادَّةِ لفيروسِ HIV كبيرةً. وهذا يتطلبُ مرورَ عدةِ أسابيعَ على الإصابةِ. وقد يشعرُ المصابونَ خلالَ المرحلةِ الأولى، أنهم في صحَّةٍ جيِّدةٍ، لكنهم معَ ذلكَ قادرونَ على نقلِ الإصابةِ إلى غيرِهم من الناسِ. ويمكنُ أن تدومَ المرحلةُ الأولى مدةً تصلُ إلى 10 سنينَ أو أكثرَ.

الشكل 3-10
أطلقَتِ الخليَّةُ T المساعدةُ المصابةُ بفيروسِ HIV، المئاتِ من الجزيئاتِ الفيروسيَّةِ الجديدةِ (البقعُ الحمراءُ). (5,600×)





الشكل 3-11

يُظهرُ الرسمُ البيانيُّ المراحلَ الثلاثَ لمرضِ الإيدز بعدَ الإصابةِ بفيروسِ HIV. يُحدّدُ كلَّ مرحلةٍ عددُ الجزيئاتِ الفيروسيَّةِ وعددُ الخلايا T المساعدةِ في الدمِ، في الوقتِ نفسِه.

المرحلةُ الثانيةُ

تشيرُ بدايةُ ظهورِ الأعراضِ السيِّئةِ إلى بدءِ مرحلةٍ ثانيةٍ من مرضِ الإيدز. فالخلايا B تتابعُ إنتاجَ كمِّيَّةٍ كبيرةٍ من الأجسامِ المضادّةِ لفيروسِ HIV، غيرَ أن عددَ الخلايا T، الشكل 3-11، ينخفضُ بشكلٍ متواصلٍ، فيما يتابعُ الفيروسُ تضاعفَهُ. ومعَ إخفاقِ جهازِ المناعةِ تنتفخُ الغددُ اللمفيَّةُ ويظهرُ التعبُ ويحدثُ نقصانُ الوزنِ، وتظهرُ الحمّى، ويحدثُ الزُّحارُ ويصبحُ حادًّا. وقد لوحظَ عندَ بعضِ المصابينَ النسيانُ وأنماطُ تفكيرٍ غيرِ سليمٍ.

المرحلةُ الثالثةُ

ينخفضُ عددُ الخلايا T المساعدةِ، في المرحلةِ الثالثةِ، إلى حدٍّ تصبحُ معهُ غيرَ قادرةٍ على تنشيطِ الخلايا B والخلايا T السامَّةِ من أجلِ مقاومةِ الفيروسِ المهاجمِ. وبنتيجةِ ذلك، تنخفضُ كمّيَّةُ الأجسامِ المضادّةِ لمولّداتِ الضدِّ لـ HIV ويرتفعُ عددُ فيروساتِ HIV بشكلٍ مفاجئٍ، فيواصلُ الفيروسُ تدميرَهُ للخلايا T المساعدةِ القليلةِ المتبقِّيةِ. هذا ويجري تشخيصُ مرضِ الإيدز عندما ينخفضُ عددُ الخلايا T المساعدةِ إلى 200 خليَّةٍ في الملّيلترِ الواحدِ من الدمِ أو ما دونَ هذا الرقمِ، في مقابلِ الكمِّيَّةِ الاعتياديَّةِ، ما بين 600 و 700 خليَّةٍ T مساعدةٍ، في الملِّيلترِ الواحدِ.

ويمكنُ تشخيصُ مرضِ الإيدز كذلكَ في حالِ ظهورِ إصابةٍ انتهازيَّةٍ. **والإصاباتُ الانتهازيَّةُ Opportunistic infections** تنتجُ عن دخولِ مسبِّباتِ المرضِ إلى أجسامِ أفرادٍ يشكونَ من ضعفٍ في جهازِ المناعةِ، وهي عادةً لا تُحدثُ المرضَ عندَ دخولِها أجسامَ أفرادٍ جهازُهُمُ المناعيُّ سليمٌ. تشتملُ الإصاباتُ الانتهازيَّةُ على التهابِ الرئةِ الحويصليِّ، والسلِّ، وأمراضٍ سرطانيَّةٍ نادرةِ الحدوثِ.

يستطيعُ العلاجُ بالعقاقيرِ أن يعوّقَ تطورَ المرضِ من مرحلةِ الإصابةِ بـ HIV إلى مرحلةِ الإيدز، غيرَ أن مرضَ الإيدز مرضٌ قاتلٌ، القليلونَ جدًّا من المصابين يعيشونَ أكثرَ من سنتين بعدَ تشخيصِه. ومن المهمِّ التنبُّهُ إلى أن الفيروسَ HIV، بحدِّ ذاتِه، لا يتسبَّبُ في الموتِ، لأن الوفاةَ تنتجُ عن عجزِ جهازِ المناعةِ عندما يضعفُ عن مقاومةِ الإصاباتِ الانتهازيَّةِ والأمراضِ السرطانيَّةِ.

انتقالُ فيروسِ HIV

ينتقلُ فيروسُ HIV عن طريقِ نقلِ سوائلَ من جسمٍ تحتوي على هذا الفيروس، أو على خلايا مصابةٍ بهِ، إلى جسمٍ سليم. وإن أكثرَ طرقِ انتقالِ الإصابةِ شيوعًا هو الاتصالُ الجنسيُّ مع شخصٍ مصابٍ. والطريقةُ الثانيةُ هي استخدامُ الحقنِ والإبرِ تحتَ الجلديَّةِ الملوَّثةِ بدمٍ يحتوي على الفيروسِ HIV. فالأشخاصُ الذين يتشاركونَ في حقَنِ المخدِّراتِ معرَّضونَ بدرجةٍ عاليةٍ لخطرِ الإصابةِ. ويمكنُ أن ينتقلَ فيروسُ HIV من أمٍّ مصابةٍ إلى طفلِها، قبلَ الولادةِ أو أثناءَ الولادةِ، أو من خلالِ الإرضاع.

لا ينتقلُ فيروسُ HIV عبرَ الملامسةِ العاديَّةِ، كالمصافحةِ بالأيدي مثلاً. ويبدو أنهُ لا ينتقلُ عبرَ الهواءِ أو الماءِ أو مقاعدِ المراحيضِ أو عبرَ اللَّدغِ من قبلِ الحشراتِ.

اللَّقاحاتُ والعلاجاتُ

الجيناتُ التي تُشفِّرُ بروتيناتِ الفيروسِ السطحيَّةَ معرَّضةٌ باستمرارٍ للطفراتِ، وتؤدّي طفَراتُها إلى ظهورِ أشكالٍ جديدةٍ من الفيروسِ ذاتِ بروتيناتٍ سطحيَّةٍ تختلفُ قليلاً عن البروتيناتِ السطحيَّةِ الأصليَّةِ وبشكلٍ مستمرٍّ. ولكي يكونَ اللَّقاحُ ضدَّ فيروسِ HIV فعّالاً يجبُ أن يكونَ قادرًا على تنشيطِ جهازِ المناعةِ ليستجيبَ لعدَّةِ أشكالٍ من الفيروسِ. وعلى الرغمِ من أن الباحثينَ يُطوِّرونَ ويجرِّبونَ العديدَ من اللَّقاحاتِ ضدَّ هذا الفيروسِ، فإن أيَّ لقاحٍ لم تثبتْ فعاليَّتُهُ حتى الآنَ.

يستطيعُ الفيروسُ HIV أن يصبحَ بسرعةٍ مُقاومًا للأدويةِ. والعلماءُ يعالجونَ المرضى حاليًّا بواسطةِ ثلاثةِ عقاقيرَ معًا. وبما أن الطفراتِ الوراثيَّةَ تحدثُ عشوائيًّا، فمنَ المرجَّحِ أن لا تحدثَ طفراتٌ تقاومُ العقاقيرَ الثلاثةَ في وقتٍ واحدٍ. وهذا العلاجُ غالبًا ما يفرضُ على المريضِ أن يتناولَ ما يبلغُ 50 حبَّةً أو أكثرَ يوميًّا من تلك الأدويةِ. الكثيرونَ من المرضى المصابينَ بفيروسِ HIV يجدونَ العلاجَ صعبًا ومكلفًا. ومع ذلك، فإن طريقةَ دمجِ الأدويةِ هي العلاجُ الأكثرُ فاعليَّةً حاليًّا. وبحكمِ عدمِ توفُّرِ لقاحٍ أو علاجٍ شافٍ للإصابةِ بفيروسِ HIV، في الوقتِ الحاضرِ، فإن أفضلَ طريقةٍ للوقايةِ منهُ، تتمثَّلُ في تجنُّبِ أشكالِ السلوكِ الذي يؤدّي إلى الإصابةِ بالفيروس.

مراجعةُ القسمِ 3-3

1. ما العلاقةُ بينَ فيروسِ HIV ومرضِ الإيدز؟
2. وضِّحْ مراحلَ تطوُّرِ الإصابةِ بفيروسِ HIV إلى أن يتمَّ تشخيصُ مرضِ الإيدز.
3. اذكرْ طريقتينِ ينتقلُ بهما فيروسُ HIV وطريقتينِ لا ينتقلُ بهما هذا الفيروسُ.
4. لماذا لم يتمكَّنِ العلماءُ من صنعِ لقاحٍ فعّالٍ ضدَّ فيروسِ HIV؟

تفكيرٌ ناقدٌ

5. وضِّحْ كيفَ يمكنُ للأبحاثِ الهادفةِ إلى منعِ المستقبلِ المرافقِ CCR5 من الالتصاقِ أن تؤثِّرَ في البحثِ عن علاجٍ للإصابةِ بفيروسِ HIV.
6. حدِّدْ وجهَ شبهٍ واحدٍ ووجهَ اختلافٍ واحدٍ بينَ فيروسِ HIV وفيروسِ الزكامِ.

مراجعةُ الفصل 3

ملخصٌ / مفرداتٌ

1-3

- إن مسبِّبَ المرض هو كلُّ ما يتسبَّبُ في مرض. طوَّرَ روبرت كوخ أربعَ خطواتٍ أساسيَّةٍ، أو مسلَّماتٍ، بها يتمُّ تحديدُ مسبِّبِ المرض الخاصِّ بمرض معيَّن.
- الجلدُ والأغشيةُ المخاطيّةُ دفاعاتٌ عامّةٌ، تمنعُ مسبِّباتِ المرض من الدخول إلى الجسم.
- يعملُ الجلدُ كحاجزٍ خارجيٍّ في وجهِ مسبِّبات المرض، ويحرِّرُ موادَّ سامّةً لمسبِّباتِ المرض.
- توفِّرُ الأغشيةُ المخاطيَّةُ وقايةً للأسطحِ الداخليَّةِ للجسم، وهي تُفرزُ المادَّةَ المخاطيَّةَ، أي السائلَ اللزجَ الذي يحتجزُ مسبِّباتِ المرض.
- ينشأُ عن إصابةِ الخلايا بأضرارٍ استجابةٌ التهابيَّةٌ. تفرزُ الخلايا المصابةُ رسلاً كيميائيَّةً تجتذبُ الخلايا البلعميَّةَ من الشعيراتِ الدمويَّةِ فتدمِّرُ هذه الخلايا مسبِّباتِ المرض.
- تهاجمُ خلايا الدمِ البيضاءُ مسبِّباتِ المرض. يبتلعُ مسبِّباتِ المرض نوعانِ من الخلايا البلعميَّةِ، هما الخلايا المتعادلةُ والبلعميّاتُ الكبيرةُ. أما الخلايا القاتلةُ الطبيعيَّةُ فإنها تُثقِّبُ الأغشيةَ الخلويَّةَ للخلايا المصابةِ فتقتلُها.
- وتشتملُ الدفاعاتُ العامَّةُ، كذلك، على الحمّى، وعلى تنشيطِ بروتيناتٍ كالنظامِ المتمِّمِ والإنترفيرون.

مفرداتٌ

الاستجابةُ الالتهابيَّةُ (49) Inflammatory response
الإنترفيرونُ (50) Interferon
البلعميَّةُ الكبيرةُ (50) Macrophage
الخليَّةُ البلعميَّةُ (49) Phagocyte
الخليَّةُ القاتلةُ الطبيعيَّةُ (50) Natural killer cell
الخليَّةُ المتعادلةُ (49) Neutrophil
الغشاءُ المخاطيُّ (48) Mucous membrane
المرضُ المُعدي (47) Infectious disease
مسبِّبُ المرض (47) Pathogen
مسلَّماتُ كوخ (47) Koch's postulates
النظامُ المتمِّمُ (50) Complement system
الهستامينُ (49) Histamine

2-3

- يتكوَّنُ جهازُ المناعةِ من خلايا وأنسجةٍ تتعرَّفُ الموادَّ الغريبةَ في الجسم وتهاجمُها.
- يجبُ أن تكونَ الخلايا اللمفيَّةُ قادرةً على تعرُّفِ الموادِّ الغريبةِ التي تهاجمُ الجسمَ، ويجبُ أن تميِّزَها عن الخلايا الذاتيَّةِ. توجدُ مستقبلاتٌ بروتينيَّةٌ عندَ الغشاءِ البلازميِّ للخليَّةِ اللمفيَّةِ، تسمحُ للخليَّةِ بأن تتعرَّفَ مولِّداتِ الضدِّ للموادِّ المهاجمة.
- يسمّى ردُّ فعل الجسم على مولِّدِ ضدٍّ استجابةً مناعيَّةً، وهي هجومٌ على مولِّدِ الضدِّ يشتملُ على: الاستجابةِ المناعيَّةِ الخلويَّةِ والاستجابةِ المناعيَّةِ الإفرازيَّةِ.
- الخلايا الذاكرةُ تبقى في الجسم بعدَ الاستجابةِ الأوليَّةِ لمولِّدِ ضدٍّ، وتحفِّزُ استجابةً مناعيَّةً ثانويةً سريعةً عندَ التعرُّضِ لمولِّدِ الضدِّ نفسِه مرةً ثانيةً. تسبِّبُ اللِّقاحاتُ نشوءَ الخلايا الذاكرةِ لتقومَ بالاستجابةِ المناعيَّةِ الثانويَّةِ.
- الحساسيَّةُ استجابةٌ لمولِّدِ ضدٍّ يقعُ في المحيطِ البيئيِّ ويتسبَّبُ في استجابةٍ ضئيلةٍ، أو بعدمِ الاستجابة، في جماعةٍ أحيائيَّةٍ. قد تسبِّبُ الحساسيّاتُ الربْوَ والإخلالَ التنفُّسيَّ الذي يؤدّي إلى تقلُّصِ الشعيباتِ الهوائيَّةِ. إن مرضَ المناعةِ ضدَّ الذاتِ هو المرضُ الذي يهاجمُ فيه جهازُ المناعةِ في جسمِ خلايا الجسمِ نفسِه.

مفرداتٌ

الاستجابةُ المناعيَّةُ (52) Immune response
الاستجابةُ المناعيَّةُ الإفرازيَّةُ (54) Humoral immune response
الاستجابةُ المناعيَّةُ الخلويَّةُ (53) Cell-mediated immune response
التطعيمُ (56) Vaccination
جهازُ المناعة (51) Immune system
الجسمُ المضادُّ (54) Antibody
الحساسيَّةُ (58) Allergy
الخليَّةُ البلازميَّةُ (54) Plasma cell
الخليَّةُ B (52) B cell
الخليَّةُ الذاكرةُ (55) Memory cell
الخليَّةُ T (52) T cell
الخليَّةُ T السامَّةُ (53) Cytotoxic T cell
الخليَّةُ T المساعدةُ (53) Helper T cell
الخليَّةُ اللمفيَّةُ (51) Lymphocyte
الربوُ (58) Asthma
الطحالُ (52) Spleen
الغدَّةُ الزعتريَّةُ (51) Thymus
مرضُ المناعة ضدَّ الذات (59) Autoimmune disease
المناعةُ (56) Immunity
مولِّدُ الضدِّ (52) Antigen

3-3

- يَنتجُ مرضُ الإيدز عن الإصابةِ بفيروس HIV. يمكنُ لفيروس HIV أن يتضاعفَ داخلَ البلعميّاتِ الكبيرةِ والخلايا T المساعدة.
- يشتملُ حدوثُ مرضِ الإيدز عندَ الإصابةِ بفيروس HIV على ثلاثِ مراحلَ: المرحلةُ الأولى مرحلةُ الحضانةِ، والمرحلةُ الثانيةُ بدايةُ ظهورِ الأعراضِ، والمرحلةُ الثالثةُ ظهورُ مرضِ الإيدز.
- ينتقلُ فيروسُ HIV، بصورةٍ رئيسةٍ، عن طريقِ الاتصالِ الجنسيِّ واستخدامِ الإبرِ الملوَّثةِ بفيروس HIV.
- تنتجُ الطفراتُ الجينيَّةُ لفيروس HIV بشكلٍ سريعٍ، وهذا ما يجعلُهُ مقاومًا للعلاجِ بالأدويةِ، ويجعلُ من صنعِ لقاحٍ فعّالٍ ضدَّهُ أمرًا صعبًا.

مفرداتٌ

إصابةٌ انتهازيَّةٌ (61) Opportunistic infection
الفيروسُ HIV (60) HIV
مرضُ الإيدز (60) AIDS

مراجعةٌ

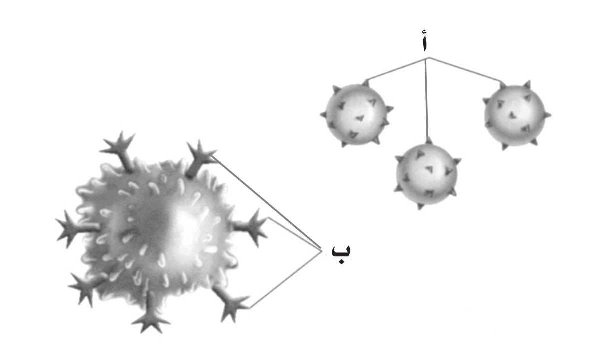
مفرداتٌ

1. وضّحِ الاختلافَ بينَ كلِّ زوجٍ من المفاهيمِ التاليةِ:
   أ. بلعميّةٌ كبيرةٌ وخليّةٌ قاتلةٌ طبيعيّةٌ
   ب. الخليّةُ B والخليّةُ T
   ج. مولِّدُ ضدٍّ وجسمٌ مضادٌّ
   د. الحساسيّةُ والربْوُ
2. وضّحِ الصلةَ بينَ فيروسِ HIV ومرضِ الإيدز.
3. استخدمِ المفرداتِ التاليةَ في جملةٍ واحدةٍ: استجابةٌ مناعيّةٌ خلويّةٌ، خليّةُ T مساعدةٌ، خليّةُ T سامّةٌ، الإنترلوكين 2.

اختيارٌ من مُتعدِّدٍ

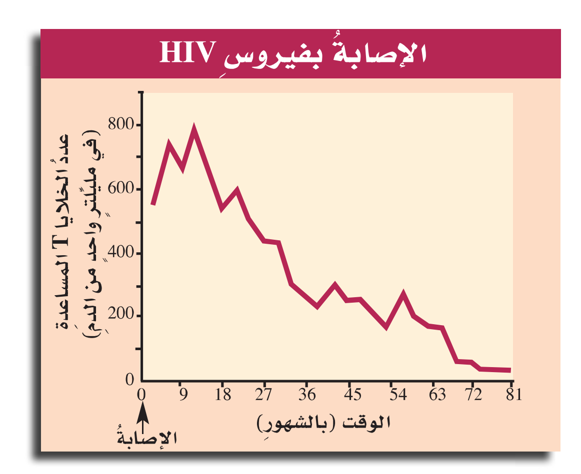
4. أيٌّ من التالي يشكلُ جزءًا من الدفاعاتِ العامّةِ؟
   أ. الاستجابةُ الالتهابيّةُ.
   ب. الاستجابةُ المناعيّةُ الأوليّةُ.
   ج. الاستجابةُ المناعيّةُ الإفرازيّةُ.
   د. الاستجابةُ المناعيّةُ الثانويّةُ.
5. أيٌّ من التالي ليسَ صحيحًا؟
   أ. أمراضُ المناعةِ ضدَّ الذاتِ يمكنُ أن تكونَ قاتلةً.
   ب. أمراضُ المناعةِ ضدَّ الذاتِ نوعٌ من المرضِ السرطانيّ.
   ج. مرضُ التصلُّبِ المتضاعفِ في الجهازِ العصبيِّ هو مرضُ مناعةٍ ضدَّ الذاتِ.
   د. أمراضُ المناعةِ ضدَّ الذاتِ تستهدفُ خلايا الجسمِ.
6. أيٌّ من التالي أكثرُ وسائلِ انتقالِ فيروسِ HIV انتشارًا؟
   أ. نقلُ الدمِ.
   ب. إجراءُ التجاربِ على فيروسِ HIV.
   ج. المصافحةُ باليدِ مع فردٍ مصابٍ بمرضِ الإيدز.
   د. الاتصالُ الجنسيُّ مع فردٍ مصابٍ بفيروسِ HIV.

يبيّنُ الرسمُ التخطيطيُّ التالي نوعينِ من التراكيبِ المعنيّةِ بالاستجابةِ المناعيّةِ. استخدمِ الرسمَ التخطيطيَّ للإجابةِ عن الأسئلةِ 7-9.



7. ما التراكيبُ المشارُ إليها بالحرفِ أ؟
   أ. مولِّداتُ ضدٍّ.
   ب. إنترفيروناتٌ.
   ج. إنترلوكيناتٌ.
   د. مستقبلاتٌ بروتينيّةٌ.
8. ما التراكيبُ المشارُ إليها بالحرفِ ب؟
   أ. مولِّداتُ ضدٍّ.
   ب. إنترفيرونات.
   ج. إنترلوكينات.
   د. مستقبلاتٌ بروتينيّةٌ.
9. لماذا يتفاعلُ التركيبانِ أ و ب، الواحدُ مع الآخرَ؟
   أ. كلاهُما بروتيناتٌ فيروسيّةٌ.
   ب. كلاهما تركيبٌ لا ذاتيٌّ.
   ج. التركيبانِ يتمِّمُ واحدُهُما الآخرَ بالشكلِ.
   د. يتمُّ إنتاجُهُما من الخلايا نفسِها.
10. الخليّةُ T: استجابةٌ مناعيّةٌ خلويّةٌ ؛ الخليّةُ B : استجابةٌ مناعيّةٌ:
   أ. إفرازيّةٌ.
   ب. تتسبَّبُ في إصابةٍ.
   ج. ثانويّةٌ.
   د. إلتهابيّةٌ.

يُظهرُ الرسمُ البيانيُّ التالي عددِ الخلايا T المساعدةِ مع الوقتِ، من بدءِ الإصابةِ بفيروسِ HIV. استخدمِ الرسمَ البيانيَّ للإجابةِ عن السؤالِ الذي يليه.



11. ما عددُ الشهورِ التي تلتْ تاريخَ الإصابةِ وبدأَ إثْرَها عددُ الخلايا T في الانخفاضِ إلى ما دون 200 خليّةٍ في المليّلترِ الواحدِ؟
   أ. 18.
   ب. 39.
   ج. 51.
   د. 58.

إجابةٌ قصيرةٌ

12. صِفِ الخطواتِ التي يجبُ أن تتَّبِعَها لتبرهِنَ أن مسبِّبَ مرضٍ معيَّنٍ هو الذي يسبِّبُ حدوثَ المرضِ.
13. قارنْ بينَ وظيفةِ الأغشيةِ المخاطيّةِ ووظيفةِ الجلدِ.
14. لخِّصْ خطواتِ آليَّةِ الاستجابةِ الالتهابيَّةِ.
15. سمِّ المادَّةَ الكيميائيّةَ التي تزيدُ من نفاذيَّةِ الشعيراتِ الدمويَّةِ التي تحيطُ بموقعِ الإصابةِ.
16. ما الأدوارُ التي تؤدّيها خلايا الدمِ البيضاءُ في الدفاعاتِ العامّةِ.
17. وضِّحْ كيفَ تساعدُ الحمّى وإنتاجُ البروتيناتِ على حمايةِ الجسمِ من الإصابةِ.
18. اذكرْ وظيفةً واحدةً للغدَّةِ الزعتريّةِ.
19. صِفْ كيفَ تتعرَّفُ الخلايا اللمفيّةُ مسبِّباتِ المرضِ، وكيفَ يتمُّ الارتباطُ بها.
20. وضِّحِ الدورَ الذي تؤدّيهِ الخلايا T المساعدةُ في الاستجابةِ المناعيّةِ.
21. ما نوعُ الخليّةِ التي تَنتِجُ الأجسامَ المضادّةَ وتُفرِزُها في الدمِ؟
22. وضِّحْ وظيفةَ الأجسامِ المضادّةِ.
23. حدِّدِ الدورَ الذي تؤدّيهِ الخلايا الذاكرةُ في توفيرِ المناعةِ ضدَّ المرضِ.
24. ما الصلةُ التي تربطُ بينَ التطعيمِ والمناعةِ؟
25. فسِّرْ سببَ حدوثِ أمراضِ المناعةِ ضدَّ الذاتِ.
26. ما الأعراضُ التي تشيرُ إلى بدءِ المرحلةِ الثالثةِ من مرضِ الإيدزِ عندَ الإصابةِ بفيروسِ HIV.
27. اذكرْ طريقتينِ ينتقلُ عادةً فيروسُ HIV من خلالِهما.
28. ما المشكلةُ التي يواجهُها العلماءُ في محاولاتِهم صنعَ لقاحٍ ضدَّ فيروسِ HIV؟
29. إن نتيجةَ اختبارِ وجودِ الأجسامِ المضادّةِ لـ HIV عند فردٍ يصابُ اليومَ بفيروسِ HIV قد لا تكونُ موجبةً إلاّ بعدَ انقضاءِ ستّةِ أشهرٍ على تعرُّضِهِ للفيروسِ. وضِّحِ السببَ.
30. استخدمِ المفرداتِ التاليةَ لتنشئَ خريطةَ مفاهيمَ: مسبِّبُ المرضِ، بلعميّةٌ كبيرةٌ، خليّةٌ T مساعدةٌ، خليّةٌ T سامّةٌ، خليّةٌ بلازميّةٌ، خليّةٌ B، جسمٌ مضادٌّ.

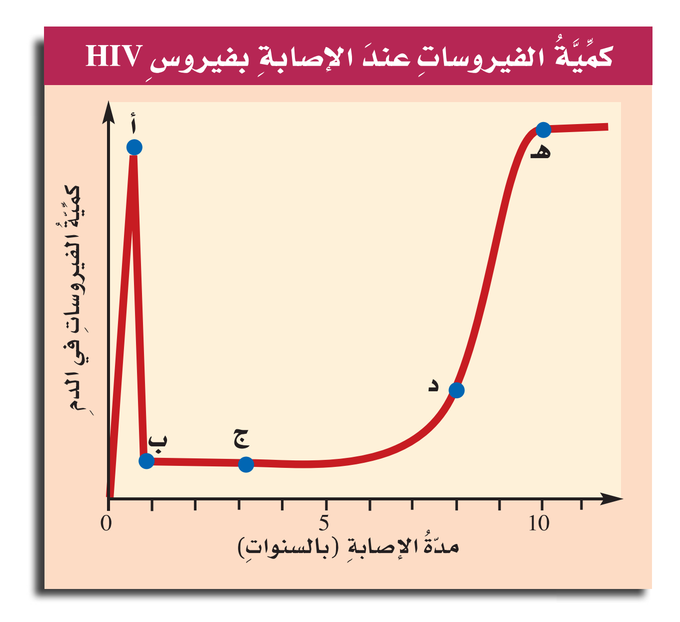
تفكيرٌ ناقدٌ

1. صنعَ العلماءُ لَقاحًا فعّالاً ضدَّ مرضِ الجدريِّ، إلاّ أنهم لم يتمكّنوا من ذلكَ بالنسبةِ لفيروسِ HIV. ما دلالةُ ذلك بالنسبةِ لتطوُّرِ فيروسِ الجدريِّ؟
2. تهاجمُ الخلايا T السامّةُ بعضَ أنواعِ الخلايا السرطانيّةِ وتقتلُها. ماذا تستنتجُ فيما يخصُّ البروتيناتِ السطحيّةَ لهذهِ الخلايا السرطانيّةِ.
3. يبيِّنُ الرسمُ البيانيُّ التالي كميَّةَ الفيروسِ HIV في الدمِ، مع الوقتِ، لفردٍ مصابٍ. استخدمِ الرسمَ البيانيَّ للإجابةِ عن الأسئلةِ التاليةِ.

أ. ما الذي تسبَّبَ في ارتفاعِ عددِ الفيروساتِ عندَ النقطةِ أ؟

ب. ما سببُ انخفاضِ عددِ الفيروساتِ بينَ النقطتينِ أ و ب؟

ج. فسِّرْ ما يحدثُ للفيروسِ ولجهازِ المناعةِ عندَ النقطتينِ ج و د.



توسيعُ آفاقِ التفكيرِ

تَنتجُ الاستجابةُ الالتهابيّةُ عن إصابةِ خليّةٍ بأذى.

أ. ما دورُ الهستامينِ في الاستجابةِ الالتهابيّةِ؟

ب. ما الفائدةُ من استجابةِ أكثرَ من نوعٍ واحدٍ من خلايا الدمِ البيضاءِ في الاستجابةِ الالتهابيّةِ؟

الفصـــل 4

الجهازُ العصبيُّ وأعضاءُ الحِسِّ



بمساعدةِ التصويرِ بالرنينِ المغنطيسيِّ MRI يستطيعُ الأطباءُ والعلماءُ التقاطَ صورٍ لنشاطِ الخلايا العصبيَّةِ في الدماغِ. تُظهِرُ الألوانُ المناطقَ النشطةَ، ومنها المنطقةُ الخارجيَّةُ لسطحِ قشرةِ المخِّ الكثيفِ التلافيفِ.

المفهومُ الرئيسُ: الثباتُ والاتزانُ الداخليُّ

وأنتَ تقرأُ لاحظْ كيفَ يعملُ الجهازُ العصبيُّ ليوفِّرَ لأجهزةِ الجسمِ الأخرى أن تعملَ معًا بكفاءةٍ وإحكامٍ.

1-4 الخلايا العصبيَّةُ والسيّالاتُ العصبيَّةُ

2-4 تركيبُ الجهازِ العصبي

3-4 المستقبلاتُ الحسيَّة

4-4 العقاقيرُ والجهازُ العصبيُّ

القســـم

1-4

النواتج التعليمية

▲ يصفُ تركيبَ الخليةِ العصبيَّةِ.

● يلخّصُ الخصائصَ الكهربائيَّةَ والكيميائيَّةَ التي يتميَّزُ بها جهدُ الراحةِ.

■ يصفُ التغيُّراتِ الكهربائيَّةَ والكيميائيَّةَ التي تحدثُ خلالَ جُهدِ الفعل.

◆ يوضحُ دورَ النواقلِ العصبيةِ في نقلِ السيّالِ عبرَ التشابكِ العصبيِّ.

الخلايا العصبيَّةُ والسيّالاتُ العصبيَّةُ

الجهازُ العصبيُّ Nervous system شبكةٌ معقّدةٌ من الخلايا التي تتواصلُ فيما بينها، وتتحكَّمُ بالأنشطةِ الذهنيَّةِ والجسميَّةِ، وتحافظُ على الاتزانِ الداخليِّ. وظيفةُ الجهازِ العصبيِّ مراقبةُ المحيطِ البيئيِّ داخليًّا وخارجيًّا والاستجابةُ لهُ، ويعتمدُ ذلك على نقلِ السيّالاتِ في خليّةٍ عصبيّةٍ، ومن خليّةٍ عصبيّةٍ إلى خليّةٍ عصبيّةٍ أخرى .

تركيبُ الخليّةِ العصبيّةِ

تتركّبُ **الخليّةُ العصبيّةُ Neuron** من ثلاثةِ أجزاءٍ رئيسةٍ هي: **جسمُ الخليّةِ Cell body**، وتوجدُ فيها نواةُ الخليّةِ العصبيّةِ، وجميعُ العضيّاتِ، الشكلين 1-4 و 4-2. والجزءُ الثاني من الخليّةِ العصبيّةِ هو **الزوائدُ الشجيريَّةُ Dendrites**، وهي امتداداتٌ خلويّةٌ مغطاةٌ بأغشيةٍ تمتدُّ من جسمِ الخليّةِ في اتجاهاتٍ مختلفةٍ. تستقبلُ الزوائدُ الشجيريّةُ المؤثِّراتِ من خلايا عصبيَّةٍ أخرى، أو من خلايا أخرى، وتنقلُها في اتجاهِ جسمِ الخليّةِ. أما الجزءُ الثالثُ فهو **المحورُ Axon**، وهو عادةً امتدادٌ خلويٌّ طويلٌ مغلّفٌ بغشاءٍ، وينقلُ السيّالاتِ بعيدًا عن جسمِ الخليةِ على شكلِ سيّالاتٍ كهربائيّةٍ تسمّى **جُهدَ الفعلِ Action potential**. وقد يكونُ للخليّةِ العصبيّةِ محورٌ واحدٌ، أو محور متشعّب تتصلُ بعدّةِ خلايا أخرى. ينتهي *طرفُ المحورِ Axon terminal* بتفرُّعاتٍ تسمّى **النهاياتِ العصبيَّةَ Nerve endings**، وقد تتواصلُ هذه النهاياتُ مع خليّةٍ عصبيّةٍ أخرى أو معَ خلايا مستجيبةٍ كالخليّةِ العضليّةِ أو الخليّةِ الغديّةِ.

تغطّي طبقةٌ دهنيّةٌ تسمّى **الغلافَ الميالينيَّ Myelin sheath** محاورَ خلايا عصبيّةٍ عديدةٍ. يَعزِلُ هذا الغلافُ المحورَ مثلما يَعزِلُ الغلافُ المطّاطيُّ سلكًا كهربائيًّا، ويسرِّعُ انتقالَ جُهدِ الفعلِ على طولِ محورِ الخليّةِ العصبيّة. تحيطُ بمحاورِ الخلايا العصبيّةِ التي لا توجدُ في الدماغِ أو في الحبلِ الشوكيِّ، *خلايا شفان Schwann cells* التي تنتجُ المايلينَ. ويتقطَّعُ الغلافُ المايلينيُّ، على طولِ المحورِ، عندَ نقاطٍ عدّةٍ تسمّى *عقدَ رانفيير Nodes of Ranvier*.

تتواصلُ الخلايا العصبيّةُ مع خلايا عصبيّةٍ أخرى، أو معَ خلايا أخرى، عندَ فواصلَ خاصّةٍ تسمّى **التشابكَ العصبيَّ Synapse**. لا تلامسُ الخلايا العصبيّةُ بعضُها بعضًا، ولا تلامسُ خلايا أخرى، بلْ توجدُ مسافةٌ صغيرةٌ فاصلةٌ تسمّى *الشقَّ التشابكيَّ Synaptic cleft*، بينَ نهايةِ المحورِ وبينَ الخليّةِ المستقبلةِ. في التشابك العصبي الخليّةُ التي تنقلُ السيّالَ العصبيَّ تسمّى *الخليّةَ قبلَ التشابكيّةِ Presynaptic cell*. أما الخليّةُ المستقبلةُ فتسمّى *الخليّةَ بعدَ التشابكيّةِ Postsynaptic cell*.

إن النشاطَ الكهربائيَّ في الخليّةِ العصبيّةِ، يتسبَّبُ في تحريرِ موادَّ كيمائيّةٍ، تسمّى **النواقلَ العصبيَّةَ Neurotransmitters**، داخلَ الشقِّ التشابكيِّ العصبيِّ. وتسبِّبُ هذهِ النواقلُ العصبيّةُ حدوثَ نشاطٍ كهربائيٍّ عندَ الخليّةِ العصبيّةِ التاليةِ. وهكذا فإن الجهازَ العصبيَّ يتنبَّهُ للنشاطِ عن طريق نشاطٍ كهربائيٍّ داخلَ الخلايا العصبيَّةِ وعن طريقِ سيّالٍ كيميائيٍّ بينَ الخلايا العصبيّةِ.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

التشابكُ العصبيُّ

Synapse

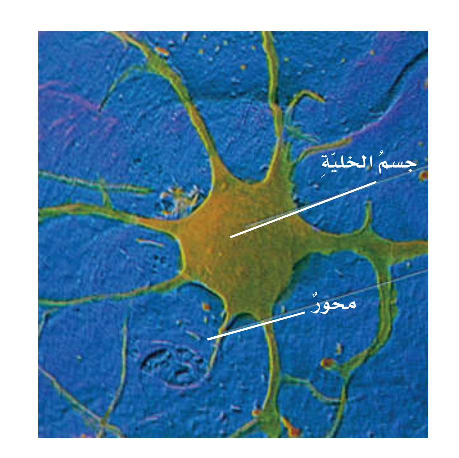
منَ اليونانيةِ synaptein وتعني «الربطَ بينَ شيئينِ»

السيّالاتُ العصبيّةُ

منذُ ما يقاربُ مئتَيْ سنةٍ حصلَ العلماءُ على عضلاتٍ من حيواناتٍ ميتةٍ، ومرَّروا عبرَها تيّارًا كهربائيًّا، فانقبضتِ العضلاتُ، تمامًا كما تنقبضُ العضلاتُ الحيّةُ. فعرفَ العلماءُ أن وظيفةَ الخليّةِ العصبيّةِ تعتمدُ على النشاطِ الكهربائيِّ.

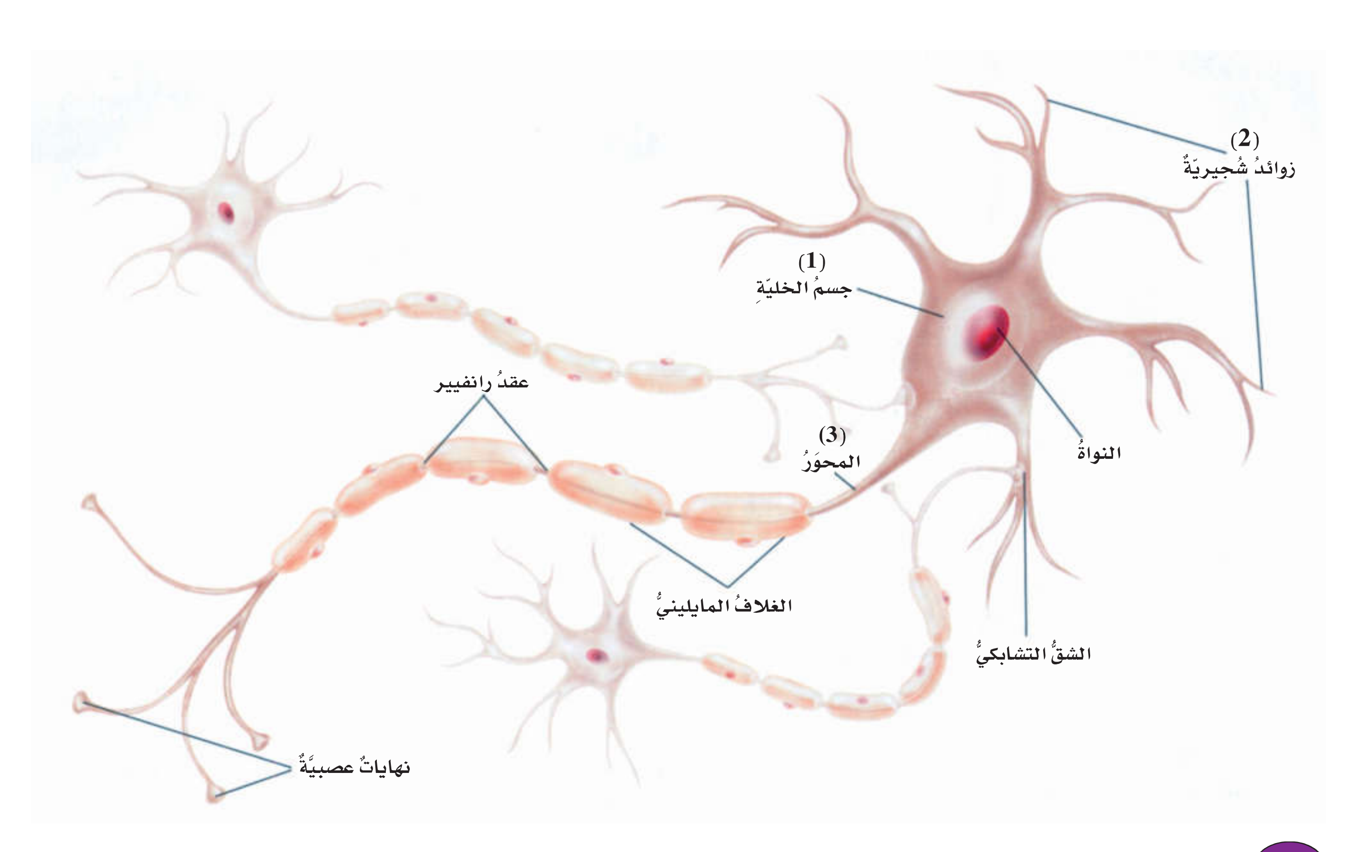
جميعُ الخلايا العصبيّةِ مشحونٌ داخلُها بشُحنةٍ كهربائيّةٍ تختلفُ عن الشحنةِ الكهربائيّةِ التي في خارجِها. يسمّى الاختلافُ في الشحنةِ الكهربائيّةِ ما بينَ داخلِ الغشاءِ الخلويِّ وخارجِهِ **جُهدَ الغشاءِ Membrane potential**. يَنتجُ جُهدُ الغشاءِ عن حركةِ انتقالِ الأيوناتِ عبرَ الغشاءِ الخلويِّ. وتعتمدُ حركةُ انتقالِ الأيوناتِ على قدرةِ هذهِ الأيوناتِ على الانتشارِ عبرَ الغشاءِ الخلويِّ، وعلى تركيزِ الأيوناتِ داخلَ الخليّةِ وخارجَها، وعلى الشحنةِ الكهربائيّةِ التي تتَّصفُ بها الأيوناتُ.

تنتشرُ الأيوناتُ عبرَ الغشاءِ الخلويِّ للخليّةِ العصبيّةِ عن طريقِ مرورِها عبرَ بروتيناتٍ تعملُ كقنواتٍ أيونيّةٍ. كُلُّ نوعٍ من القنواتِ يسمحُ بمرورِ أيوناتٍ خاصَّةٍ. تُفتَحُ بعضُ القنواتِ الأيونيّةِ أو تُغلَقُ بالاعتمادِ على جُهدِ الغشاءِ. وأيُّ تغيُّرٍ في جهدِ الغشاءِ، مهما كانَ بسيطًا، يؤثِّرُ في نفاذيّةِ الغشاءِ الخلويِّ فيما يخصُّ أيوناتٍ محددةً. والأيوناتُ، بدخولِها إلى الخليّةِ العصبيّةِ أو خروجِها منها، تؤثِّرُ بدورِها في جهدِ الغشاءِ.



الشكل 4-1
صورةٌ مجهريّةٌ لخليّةٍ عصبيّةٍ

الشكل 4-2
أجزاءُ الخليّةِ العصبيّةِ



جهدُ الراحةِ

تكونُ الخليّةُ العصبيَّةُ في حالةِ راحةٍ عندَما لا تستقبلُ ولا ترسلُ سيّالاتٍ. وفي هذهِ الحالةِ يكونُ تركيزُ البروتيناتِ سالبةِ الشحنةِ وأيوناتِ البوتاسيوم k^+ موجبةِ الشحنةِ داخلَ الخليّةِ أعلى مما يكونُ خارجَها. ويكونُ تركيزُ أيوناتِ الصوديوم Na^+ خارجَ الخليّةِ أعلى منهُ في داخلِها. إن تركيزَ أيوناتِ الصوديوم Na^+ وأيوناتِ البوتاسيوم k^+، ينتجُ عن مضخّةِ الصوديوم–بوتاسيوم التي تنقلُ، بالنقلِ النشِطِ، أيوناتِ الصوديوم Na^+ إلى خارجِ الخلايا، وأيوناتِ البوتاسيوم k^+ إلى داخلِها.

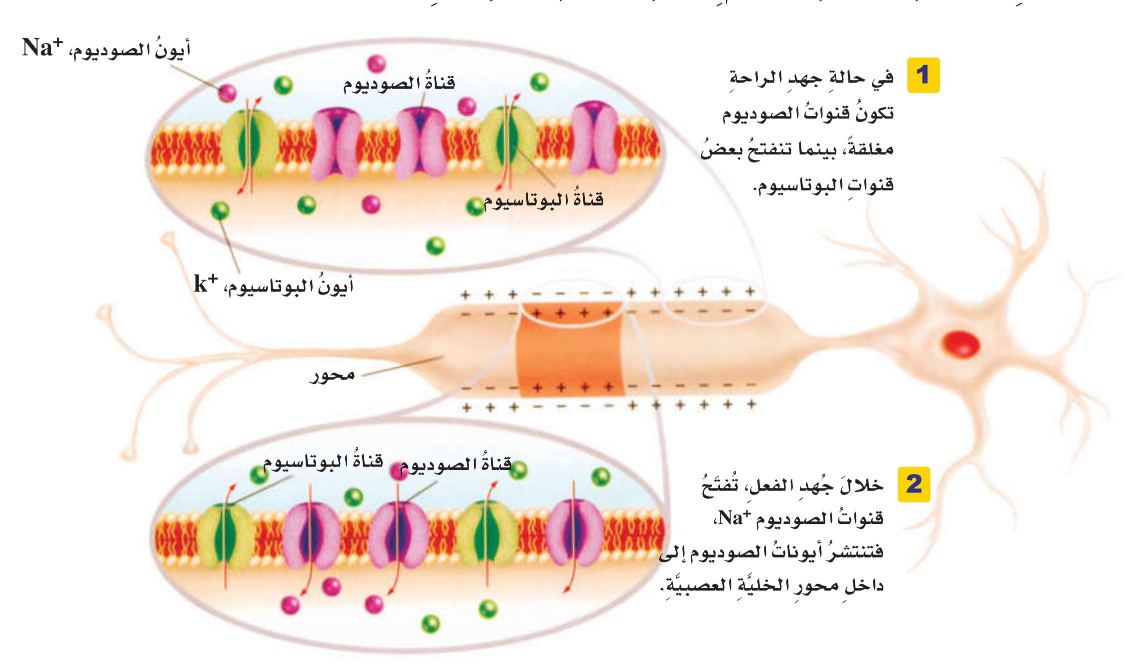
إنَّ الغشاءَ الخلويَّ منَفِّذٌ لبعضِ الأيوناتِ. فأيوناتُ الصوديوم لا تنتشرُ بسهولةٍ عبرَ الغشاءِ، بل تتراكمُ خارجَ الخليَّةِ. أما البروتيناتُ سالبةُ الشحنةِ فتظلُّ داخلَ الخليّةِ لأنها كبيرةُ الحجمِ ولا تستطيعُ المغادرةَ. في حينِ أن أيوناتِ البوتاسيوم k^+ تمرُّ بحرِّيَّةٍ عبرَ الغشاءِ وتنتشرُ إلى خارجِ الخليّةِ، مما يؤدّي في النهايةِ إلى جعلِ داخلِ الخليّةِ سالبَ الشحنةِ بالنسبةِ إلى خارجِها الموجبِ الشحنةِ. لذلكَ يتصفُ غشاءُ الخليّةِ في حالةِ الراحةِ بالاستقطابِ *Polarization*. ويسمّى فرقُ الجهدِ الناتجِ عن الاختلافِ في الشحناتِ **جُهدَ الراحةِ Resting potential** للغشاءِ. ويبلغُ هذا الجهدُ في معظمِ الخلايا العصبيَّةِ ما يقاربُ 70− ملِّفولتًا.

جهدُ الفعلِ

عندما تُنبَّهُ الزوائدُ الشُّجَيريَّةُ، أو جسمُ الخليّةِ، تتغيَّرُ نفاذيَّةُ الغشاءِ الخلويِّ للخليّةِ العصبيَّةِ بصورةٍ مفاجئةٍ. وعندَ نقطةِ التنبُّهِ يصبحُ الغشاءُ الخلويُّ منفِّذًا لأيوناتِ الصوديوم Na^+. فتنفتحُ القنواتُ الأيونيّةُ في الغشاءِ، ويسمحُ ذلك لأيوناتِ الصوديوم بالتدفّقِ إلى داخلِ الخليّةِ العصبيَّةِ، فيصبحُ داخلُها موجبًا بالنسبةِ إلى خارجِها السالبِ. وينشأُ عن انعكاسِ الاستقطابِ هذا، عبرَ الغشاءِ، جُهدُ الفعلِ، الشكل 4-3. يبدأُ جهدُ الفعلِ عندَ نقطةِ الاتصالِ بينَ جسمِ الخليّةِ العصبيّةِ وبدايةِ محورِها.

الشكل 4-3

1 أثناءَ جُهدِ الراحةِ، يكونُ داخلُ الخليّةِ العصبيّةِ سالبًا بالنسبةِ إلى خارجِها. 2 يؤدّي مرورُ جُهدِ الفعلِ عبرَ غشاءِ محورِ الخليّةِ العصبيَّةِ إلى انعكاسِ القطبيَّةِ، فيصبحُ داخلُ محورِ الخليَّةِ العصبيَّةِ موجبًا بالنسبةِ إلى خارجِها.



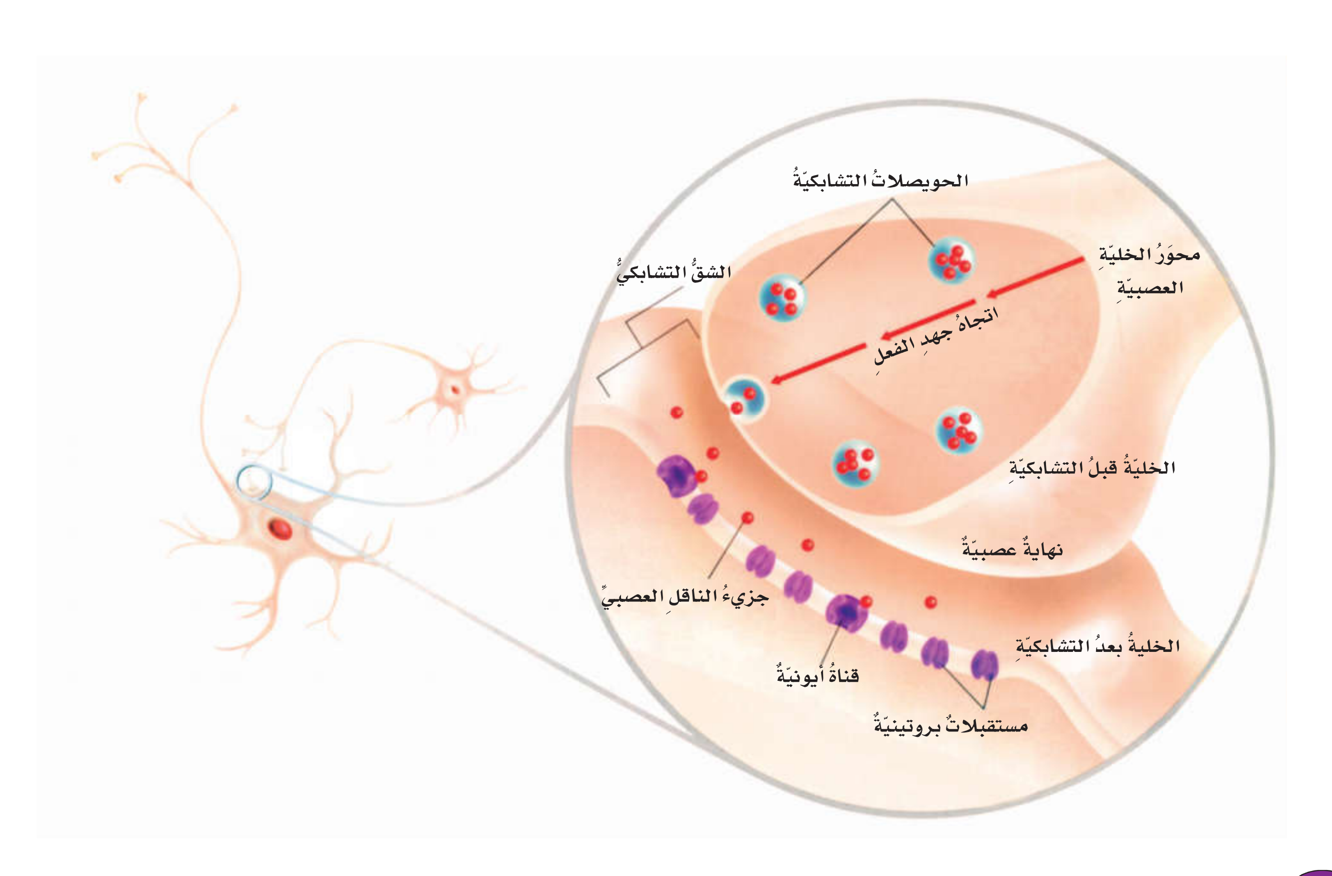
يوجدُ قنواتٌ أيونيَّةٌ على طولِ محورِ الخليّةِ العصبيَّةِ. وعندَ تنبيهِ الخليّةِ العصبيّةِ، يصبحُ داخلُها موجبًا في القطعةِ من المحورِ التي تمَّ تنبيهُها. ويؤدّي تغيُّرُ فرقِ الجهدِ إلى فتحِ قنواتٍ في غشاءِ قطعةِ المحورِ التي تلي، فتدخلُ عبرَها أيوناتُ الصوديوم Na^+، كما في السابقِ. لذا ينتقلُ جهدُ الفعلِ على طولِ المحورِ في اتجاهٍ واحدٍ فقط، أي بعيدًا عن جسمِ الخليّةِ، نحو النهاياتِ العصبيّةِ.

بعدَ ذلكَ تنغلقُ قنواتُ أيوناتِ الصوديوم، وتُفتحُ القنواتُ الأيونيَّةُ للبوتاسيوم، فيصبحُ خارجُ الخليّةِ موجبًا بالنسبةِ إلى داخلِها. وهذا ما يسمّى **إعادةَ الاستقطاب Repolarization** الذي يشيرُ إلى انتهاءِ جُهدِ الفعلِ. غيرَ أن الخليّةَ العصبيّةَ لا تستطيعُ إحداثَ جهدِ فعلٍ آخرَ قبلَ استعادةِ جهدِ الراحةِ. وتسمّى هذهِ الفترةُ الزمنيَّةُ **فترةَ الامتناعِ Refractory period**.

بعدَ انتهاءِ جُهدِ الفعلِ، يصبحُ تركيزُ أيوناتِ الصوديوم Na^+، داخلَ الخليّةِ، أعلى مما هو عليهِ في حالةِ الراحةِ، بينما يكونُ تركيزُ أيوناتِ البوتاسيوم، داخلَ الخليّةِ، أدنى. وتساعدُ مضخَّةُ الصوديوم–بوتاسيوم، باستخدامِ ATP، على إعادةِ تركيزِ أيوناتِ الصوديوم Na^+ وتركيزِ أيوناتِ البوتاسيوم k^+ إلى ما كانا عليهِ في حالةِ الراحةِ. وبهذا تنتقلُ أيوناتُ الصوديوم Na^+ عبرَ الغشاءِ الخلويِّ إلى الخارجِ، بينما تنتقلُ أيوناتُ البوتاسيوم k^+ عبرَ الغشاءِ إلى الداخلِ، وتصبحُ الخليّةُ العصبيّةُ قادرةً على استقبالِ جهدِ فعلٍ آخرَ.

الشكل 4-4

تحررُ الخليّةُ العصبيّةُ قبل التشابكيّةِ جزيئاتِ ناقلٍ عصبيٍّ، داخلَ الشقِّ التشابكيِّ. ترتبطُ هذهِ الجزيئاتُ بمستقبلاتٍ بروتينيَّةٍ عندَ الغشاءِ بعدِ التشابكيِّ، مما يؤدّي إلى فتحِ القنواتِ الأيونيَّةِ ودخولِ الأيوناتِ الموجبةِ، مما يجعلُ داخلَ غشاءِ الخليَّةِ بعد التشابكيَّةِ موجبًا. وإذا أصبحَ جهدُ الغشاءِ موجبًا بما فيهِ الكفايةِ، تولّدُ الخليّةُ بعدُ التشابكيّةِ جهدَ فعلٍ ينتقلُ عبرَ الخليّةِ.



انتقالُ السيّالِ العصبيِّ عندَ التشابكِ العصبيِّ

تستطيعُ خليّةٌ عصبيّةٌ أن تتواصلَ مع خليّةٍ عصبيّةٍ أخرى، عبرَ الشقِّ التشابكيِّ، بعدَ وصولِ جُهدِ الفعلِ إلى النهاياتِ العصبيّةِ. فعندَ النهاياتِ العصبيّةِ توجدُ حويصلاتٌ تخزِّنُ نواقلَ عصبيّةً. وعندما يصلُ جهدُ الفعلِ إلى النهاياتِ العصبيّةِ لمحوَرِ خليّةٍ قبلِ تشابكيّة، تلتحمُ الحويصلاتُ بالغشاءِ قبلِ التشابكيِّ، فتنفجرُ الحويصلاتُ محرِّرةً النواقلَ العصبيّةَ داخلَ الشقِّ التشابكيِّ. وتنتشرُ بسرعةٍ النواقلُ العصبيَّةُ عبرَ الشقِّ التشابكيِّ، ثمَّ ترتبطُ بمستقبِلاتٍ بروتينيَّةٍ عندَ الغشاءِ بعدِ التشابكيِّ، الشكل 4-4.

يؤدّي الارتباطُ بينَ الناقلِ العصبيِّ وجزيئاتِ المستقبِلاتِ إلى تغيُّرٍ في نفاذيةِ الغشاءِ بعدِ التشابكيِّ من خلالِ التأثيرِ في القنواتِ الأيونيّةِ. ويكونُ فتحُ قنواتِ أيوناتِ الصوديوم في الغشاءِ بعدِ التشابكيِّ السببَ في جعلِ داخلِها موجبًا إثرَ دخولِ أيوناتِ الصوديوم. فيولِّدُ ذلك جُهدًا بعدَ تشابكيٍّ مؤثِّرًا، ولكنهُ لا يولِّدُ جهدَ الفعلِ إلاّ عندما ينفتحُ عددٌ أكبرُ من القنواتِ الأيونيَّةِ للصوديوم، بحيثُ يؤدّي ذلك إلى دخولِ كميَّةٍ كبيرةٍ من الصوديوم كافيةٍ لتوليدِ جهدِ الفعلِ. غيرَ أن الارتباطَ بينَ بعضِ النواقلِ العصبيّةِ والجزيئاتِ المستقبِلةِ قد يؤدّي إلى فتحِ قنواتٍ أخرى تسمحُ للأيوناتِ السالبةِ بالدخولِ إلى الخليّةِ. فيصبحُ داخلُ الخليَّةِ سالبًا بدرجةٍ أكبرَ بالنسبةِ إلى خارجِها ولا يحدثُ أيُّ جُهدِ فعلٍ في الخليّةِ العصبيّةِ المستقبِلةِ، إنما يَنتجُ جهدٌ بعدُ تشابكيٍّ مثبِّط.

النواقلُ في الشقِّ التشابكيِّ لا تبقى إلى ما لا نهاية. فمعظمُها يُزالُ من الشقِّ التشابكيِّ بعد فترةٍ وجيزةٍ من تحريرِها. فالعديدُ من الخلايا التشابكيَّةِ، تمتصُّ النواقلَ العصبيَّةَ وتستخدمُها من جديدٍ. وفي شقوقٍ تشابكيَّةٍ أخرى، تُفكَّكُ النواقلُ العصبيَّةُ بواسطةِ الأنزيماتِ. إن إعادةَ امتصاصِ النواقلِ العصبيَّةِ، أو تفكيكَها، يوقفُ استمرارَ تأثيرِها على الخلايا بعدِ التشابكيَّةِ.

مراجعةُ القسمِ 4-1

1. صِفْ تركيبَ خليَّةٍ عصبيَّةٍ.
2. ما المقصودُ بجهدِ الراحةِ لغشاءِ خليّةٍ عصبيّةٍ؟ وما قيمتُهُ بالفولت؟
3. ما المقصودُ بجهدِ الفعلِ؟
4. كيفَ ينتقلُ السيّالُ العصبيُّ من خليّةٍ عصبيّةٍ إلى خليّةٍ عصبيّةٍ تاليةٍ؟
5. لماذا يستهلكُ الجهازُ العصبيُّ كميَّةً كبيرةً من الطاقةِ؟
6. صِفْ تأثيرَين محتمَلين للنواقلِ العصبيّةِ على التشابكِ العصبيِّ.

تفكيرٌ ناقدٌ

7. ما الفائدةُ الوظيفيَّةُ لخليّةٍ عصبيّةٍ ذاتِ عددٍ كبيرٍ من الزوائدِ الشُّجيريّةِ، مقارنةً بخليّةٍ عصبيّةٍ ذاتِ زائدةٍ شُجَيريّةٍ واحدةٍ فقط؟
8. لاحظْ نموذجَ التشابكِ العصبيِّ في الشكل 4-4. ماذا يحدثُ إذا لم تتمَّ إزالةُ النواقلِ العصبيّةِ في الشقِّ التشابكيِّ؟

القسم

2-4

النواتج التعليمية

- يتعرّفُ الجزءين الرئيسين للجهازِ العصبيِّ المركزيِّ.
- يلخّصُ وظائفَ الأجزاءِ الرئيسةِ للدماغِ.
- يوضحُ أدوارَ الأقسامِ الحسّيَّةِ والحركيّةِ للجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ.
- يميّزُ بين الجهازِ العصبيِّ الجسميِّ والجهازِ العصبيِّ الذاتيِّ.

تركيبُ الجهازِ العصبيِّ

الجهازُ العصبيُّ شبكةٌ من الخلايا عاليةُ التنظيمِ ترصُدُ التغيُّراتِ وتتواصلُ فيما بينها. وتتحكّمُ في نشاطِ الجسمِ ووظيفةِ الدماغِ وفي العمليّاتِ الأيضيَّةِ. يقسمُ الجهازُ العصبيُّ إلى قسمينِ رئيسينِ هما: الجهازُ العصبيُّ المركزيُّ والجهازُ العصبيُّ الطرفيُّ.

تنظيمُ الجهازِ العصبيِّ

يتكوّنُ **الجهازُ العصبيُّ المركزيُّ Central nervous system** من الدماغِ والحبلِ الشوكيِّ، الشكل 4-5. الدماغُ هو مركزُ التحكمِ في الجهازِ العصبيِّ، أما الحبلُ الشوكيُّ فينَقُلُ السيّالاتِ العصبيّةَ ما بين الجسمِ والدماغ. يفسِّرُ الدماغُ السيّالاتِ العصبيّةَ القادمةَ من الجسمِ، ويرسلُ سيّالاتٍ استجابيَّةً تمرُّ عبر الحبلِ الشوكيِّ إلى أنحاءِ الجسمِ.

يتكوّنُ **الجهازُ العصبيُّ الطرفيُّ Peripheral nervous system** من خلايا عصبيّةٍ طرفيّةٍ يجمعُ بعضُها المعلوماتِ من الجسمِ وينقلُها إلى الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ. وهذه الخلايا تسمّى *الخلايا العصبيّةَ الواردةَ Afferent neurons*. وبعضُها الآخرُ من الخلايا العصبيّةِ الطرفيّةِ ينقلُ المعلوماتِ من الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ إلى الجسمِ. وهذه الخلايا تسمّى *الخلايا العصبيَّةَ الصادرةَ Efferent neurons*.

الدماغُ

يراقبُ الدماغُ عمليّاتِ الجسمِ اليوميَّةَ، ويفسِّرُ كمِّيَّةً هائلةً من السيّالاتِ. يبلغُ متوسِّطُ وزنِ الدماغِ عند الشخصِ البالغِ 1.4 kg، أو حواليَ 2% من وزنِ جسمِهِ كلِّهِ. والدماغُ بالرُّغمِ من صِغَرِ كتلتِهِ النسبيَّةِ، يحتوي على 100 بليونِ خليّةٍ عصبيّةٍ، وجميعُها تعملُ كوحدةٍ.

إن الدماغَ مسؤولٌ عن الكثيرِ من السِّماتِ التي تميِّزُ كلَّ شخصٍ عن الآخرِ، كالأفكارِ، والمشاعرِ، والذكرياتِ، والمواهبِ، والعواطفِ، علمًا أن معظمَ الدماغِ مخصَّصٌ لتنظيمِ عملِ الجسمِ والحفاظِ على الاتزانِ الداخليِّ. ويتكوّنُ الدماغُ من الأجزاءِ الرئيسةِ الأربعةِ التاليةِ:

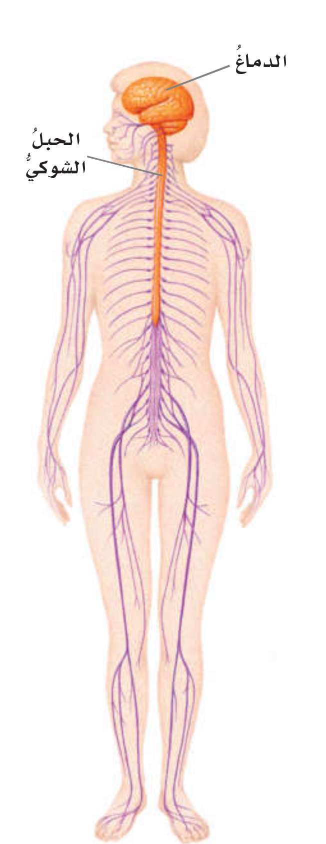
المخُّ

إن أكبـرَ أجـزاءِ الـدمـاغِ هـو **المخُّ Cerebrum**، ويسهلُ تعرُّفُهُ من خلال طبقتِهِ الخارجيَّةِ الكثيرةِ التلافيفِ. فهو يتكوّنُ من نصفَي الكُرةِ المخِّيّة، الشكل 4-6، اللذين يربطُ بينهُما *الجسمُ الجاسئُ Corpus callosum*، وهو حزمةٌ مكوّنةٌ من محاورِ الخلايا العصبيّةِ، يقعُ في الأخدودِ المركزيِّ العميقِ الذي يَفصِلُ بين نصفِ الكرةِ الأيمنِ ونصفِ الكرةِ الأيسرِ. وتَقسِمُ أخاديدُ أخرى كلَّ نصفِ كرةٍ إلى أربعةِ فصوصٍ هي: *الفَصُّ الجبهيُّ Frontal lobe* و*الفَصُّ الجداريُّ Parietal lobe* و*الفَصُّ الصُّدْغِيُّ Temporal lobe*، و*الفَصُّ القفويُّ Occipital lobe*.

إن الطبقةَ الخارجيَّةَ للمخِّ، التي تسمّى **قشرةَ المخِّ Cerebral cortex**، كثيفةُ التلافيفِ. وهي تتكوّنُ من *المادَّةِ الرماديّةِ Gray matter* المكوَّنةِ من أجسامِ الخلايا العصبيّةِ ومحاورَ غيرِ مايلينيَّةٍ لبعضِ الخلايا. تزيدُ كثافةُ التلافيفِ منَ المَساحةِ السطحيَّةِ للقشرةِ. والقشرةُ يراوحُ عددُ الخلايا فيها ما بينَ 10% و 20% من إجماليِّ عددِ الخلايا العصبيّةِ في الدماغِ. وكما يظهرُ في الشكل 4-6، تتحكَّمُ أجزاءٌ مختلفةٌ من قشرةِ المخِّ بالسيّالاتِ والاستجاباتِ الحركيّةِ الآتيةِ من الجسمِ. فعلى سبيلِ المثالِ، تقعُ منطقةُ القشرةِ التي يتمُّ فيها فهمُ السيّالاتِ اللمسيَّةِ في الفَصِّ الجداريِّ.

إلا أن هذه الأجزاءَ ليستْ جميعُها متماثلةً في نصفَي الكرةِ المخِّيةِ. فالمركزانِ اللذانِ يتحكَّمانِ في النطقِ واللغةِ موجودان في نصفِ الكرةِ المخِّيّةِ اليسرى. أما المراكزُ التي تتحكَّمُ في معالجةِ الحيِّزِ المكانيِّ وفهمِهِ وفي التفكيرِ العقلانيِّ فتوجدُ في نصفِ الكرةِ المخِّيّةِ اليمنى. وتختلفُ عن ذلكَ مراكزُ مناطقِ هذه الوظائفِ عند الشخصِ الأعسرِ.

تقعُ *المادَّةُ البيضاءُ White matter* تحتَ سطحِ قشرةِ المخِّ، وهي مكوّنةٌ من محاورَ مايلينيَّةٍ. وهذه المحاورُ تربطُ مناطقَ معيَّنةً من القشرةِ بعضَها ببعضٍ وبمراكزَ عصبيّةٍ أخرى. وتتقاطعُ هذه المحاورُ أثناءَ دخولِها من الجسمِ إلى الدماغِ. لذلك تتمُّ معالجةُ السيّالاتِ التي تنشأُ في النصفِ الأيمنِ من الجسمِ في النصفِ الأيسرِ من الدماغِ، والعكسُ صحيحٌ.



الشكل 4-5

يشتملُ الجهازُ العصبيُّ المركزيُّ على الدماغِ والحبلِ الشوكيِّ، الظاهرينِ باللونِ البرتقاليِّ. أما الجهازُ العصبيُّ الطرفيُّ، المبيَّنُ باللونِ البنفسجيِّ، فيشتملُ على جميعِ الأنسجةِ العصبيَّةِ الأخرى في الجسمِ.

الشكل 4-6

(أ) منظرٌ علويٌّ للدماغِ يُبيّنُ نصفَي الكرةِ المخيَّةِ الأيمنَ والأيسرَ. (ب) يُقسَمُ كلُّ نصفِ كرةٍ مخيةٍ إلى أربعةِ فصوصٍ. تقعُ مراكزُ التحكُّمِ لمختلفِ الوظائفِ في مناطقَ مختلفةٍ من الدماغِ.

(أ) منظرٌ علويٌّ للدماغِ

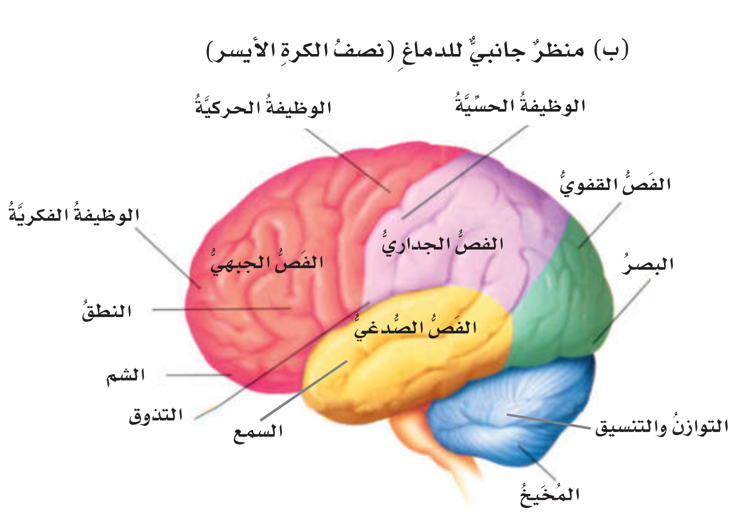
الفَصُّ الجبهيُّ

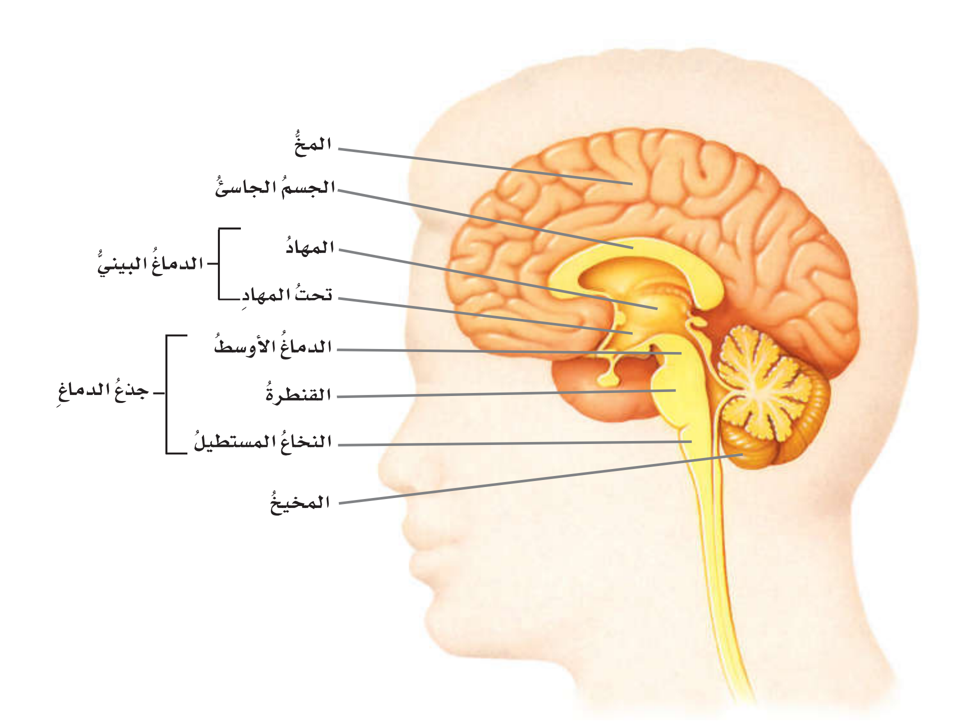
الفَصُّ الجداريُّ

الفَصُّ القفويُّ

نصفُ الكرةِ الأيسرِ — نصفُ الكرةِ الأيمنُ

(ب) منظرٌ جانبيٌّ للدماغِ (نصفُ الكرةِ الأيسر)





الشكل 7-4
يُبيّنُ المنظرُ (المقطع) الجانبيُّ لوسطِ الدماغِ نصفَ الكرةِ الأيمن. إن قشرةَ المخِّ ذاتَ التلافيفِ مرئيَّةٌ على طولِ الجبهةِ والمؤخَّرةِ والجهةِ العليا من الدماغ، حيث يوجدُ الأخدودُ العميقُ الذي يفصلُ بين نصفَي الكرة. أما التراكيبُ الموجودةُ تحت المخِّ فهي مبيَّنةٌ في مقطعٍ عرضيٍّ.

الدماغُ البينيُّ

الدماغُ البينيُّ Diencephalon، هو الجزءُ الواقعُ بين المخِّ وجذعِ الدماغِ. وهو يحتوي على مراكزَ موصلةٍ للسيّالاتِ القادمةِ من الدماغِ والسيّالاتِ التي تغادرُهُ. ويشتملُ على **المِهادِ Thalamus**، وهو الذي يوجِّهُ معظمَ السيّالاتِ العصبيَّةِ الحسِّيّةِ في اتجاهِ المنطقةِ المختصَّةِ من قشرةِ المخ. كما يشتمل على **تحتِ المهادِ Hypothalamus**، وهو الذي يساعدُ في الحفاظِ على الاتزانِ الداخليِّ، ويتحكَّمُ في معظمِ إفرازاتِ الجسمِ الهرمونيَّةِ بطريقةٍ مباشرةٍ أو غيرِ مباشرةٍ.

جذعُ الدماغِ

يربطُ **جذعُ الدماغِ Brain stem**، الظاهرُ في الشكلِ 4-7، المخَّ بالحبلِ الشوكيِّ. وجذعُ الدماغِ منطقةٌ ضيِّقةٌ تقعُ تحتَ الدماغِ البينيِّ ويتكوَّنُ من ثلاثةِ أجزاءٍ، هي الدماغُ الأوسطُ والقنطرةُ والنخاعُ المستطيلُ. يوصلُ **الدماغُ الأوسطُ Midbrain** السيّالاتِ البصريّةَ والسيّالاتِ السمعيّةَ إلى المراكزِ المختصَّة. و**القنطرةُ Pons** توفِّرُ التواصلَ بين نصفَي الكرةِ المخيَّةِ والمخيخ. ويعملُ **النخاعُ المستطيلُ Medulla oblongata** كمركزِ تحكُّمٍ في معدَّلِ نبضِ القلبِ وحركةِ التنفُّسِ وفي أنشطةٍ أخرى تتعلقُ بالاتزانِ الداخليِّ.

المُخيّخُ

يقعُ **المخيخُ Cerebellum** في أسفلِ المخِّ من الجهةِ الخلفيّةِ، ويتَّصفُ بسطحٍ ذي تلافيفَ. وهو يساعدُ على تنسيقِ عملِ العضلاتِ. ويستقبلُ السيّالاتِ العصبيّةَ الحسِّيّةَ القادمةَ من العضلاتِ والأوتارِ العضليّةِ والمفاصلِ والعينينِ والأذنينِ، وسيّالاتٍ من

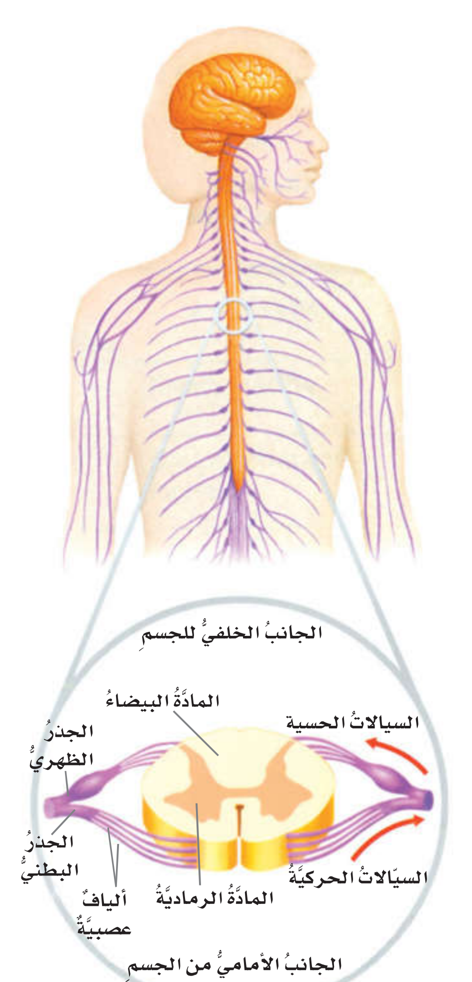
مراكزَ أخرى في الدماغِ، وهو يعالجُ السيّالاتِ المتعلّقةَ بوضعِ الجسمِ، ويتحكّمُ في شكلِهِ وفي إبقاء العضلاتِ الهيكليَّةِ في حالةِ انقباضٍ جزئيٍّ دائمٍ. ينسّقُ المخيخُ الحركاتِ المستمرّةَ والسريعةَ، فهو يعملُ بالتوافقِ مع جذعِ الدماغِ وقشرةِ المخّ، في تنسيقِ العضلاتِ الهيكليَّةِ.

الحبلُ الشوكيُّ

الحبلُ الشوكيُّ الظاهرُ في الشكل 4-8، هو عمودٌ من النسيجِ العصبيِّ يبدأُ من النخاعِ المستطيلِ، ويمتدُّ سفليًّا عبر العمودِ الفقاريِّ، ناقلاً السيّالاتِ العصبيَّةَ ذهابًا وإيابًا. ويتكوَّنُ الحبلُ الشوكيُّ من طبقةٍ خارجيَّةٍ من المادَّةِ البيضاءِ ومن طبقةٍ داخليَّةٍ مكوَّنةٍ من المادَّةِ الرماديَّةِ التي تتكوَّنُ من زوائدَ شُجيريَّةٍ ومن محاورَ غيرِ مايلينيَّة، ومن أجسامِ الخلايا العصبيَّةِ.

الجهازُ العصبيُّ الطرفيُّ

يتفاعلُ الجهازُ العصبيُّ المركزيُّ، باستمرارٍ مع الجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ عبر 12 زوجًا من الأعصابِ الدماغيَّةِ التي تربطُ الدماغَ بالرأسِ والعنقِ، وعبر 31 زوجًا من الأعصابِ الشوكيَّةِ التي تربطُ الجهازَ العصبيَّ المركزيَّ بجميعِ أجزاءِ الجسمِ. تتكوَّنُ **الأعصابُ Nerves** من حُزَمِ محاورِ الخلايا العصبيَّةِ وزوائدِها الشُجيريَّةِ الموجودةِ خارجَ الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ. يبدأُ كلُّ عصبٍ شوكيٍّ من الحبلِ الشوكيِّ بجذرين: جذرٍ ظهريٍّ *Dorsal root* وجذرٍ بطنيٍّ *Ventral root*. ينقلُ الجذرُ الظهريُّ السيّالاتِ العصبيَّةَ من مكانِ التنبيهِ، أي من **المستقبلاتِ الحسِّيَّةِ Sensory receptors**، إلى الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ. هذه الخلايا العصبيَّةُ مختصَّةٌ بالتقاطِها لمؤثّراتٍ كالضوءِ أو الضغطِ أو الحرارةِ. بينما تمرُّ في الجذرِ البطنيِّ محاورُ **الخلايا العصبيَّةِ الحركيَّةِ Motor neurons**، التي تنقلُ السيّالاتِ من الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ إلى العضلاتِ والغددِ. ويوجدُ في الحبلِ الشوكيِّ **خلايا عصبيَّةٌ بينيَّةٌ Interneurons**، توصِّلُ السيّالاتِ ما بين خلايا عصبيَّةٍ أخرى.



الشكل 4-8
ينقلُ الحبلُ الشوكيُّ، الظاهرُ في المقطعِ العرضيِّ، السيّالاتِ إلى الدماغِ ومنهُ. تدخلُ السيّالاتُ الحسّيَّةُ الآتيةُ من الجسمِ إلى الحبلِ الشوكيِّ عبرَ الجذورِ الظهريَّةِ. أما السيّالاتُ الموجَّهةُ إلى عضلاتِ الجسمِ وإلى العديدِ من الغددِ، فإنها تخرجُ من الحبلِ الشوكيِّ عبرَ خلايا عصبيَّةٍ حركيَّةٍ تمرُّ في الجذورِ البطنيَّةِ.

القسمُ الحسِّيُّ

يحتوي القسمُ الحسِّيُّ للجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ على مستقبلاتٍ حسّيَّةٍ، وعلى خلايا عصبيَّةٍ بينيَّةٍ توفِّرُ اتصالَ المستقبلاتِ بالجهازِ العصبيِّ المركزيِّ. تتلقى المستقبلاتُ الحسّيَّةُ المؤثراتِ من المحيطِ البيئيِّ الداخليِّ والخارجيِّ للجسمِ، وترسلُ الأعصابُ الدماغيَّةُ والأعصابُ الشوكيَّةُ السيّالاتِ الناتجةَ عن المؤثّراتِ الحسّيَّةِ إلى الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ.

القسمُ الحركيُّ

القسمُ الحركيّ من الجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ يجعلُ الجسمَ يتفاعلُ مع السيّالاتِ الحسِّيّة. يتكوَّنُ القسمُ الحركيُّ من جهازينِ مستقلّينِ هما الجهازُ العصبيُّ الجسميُّ والجهازُ العصبيُّ الذاتيُّ.

الجهازُ العصبيُّ الجسميُّ

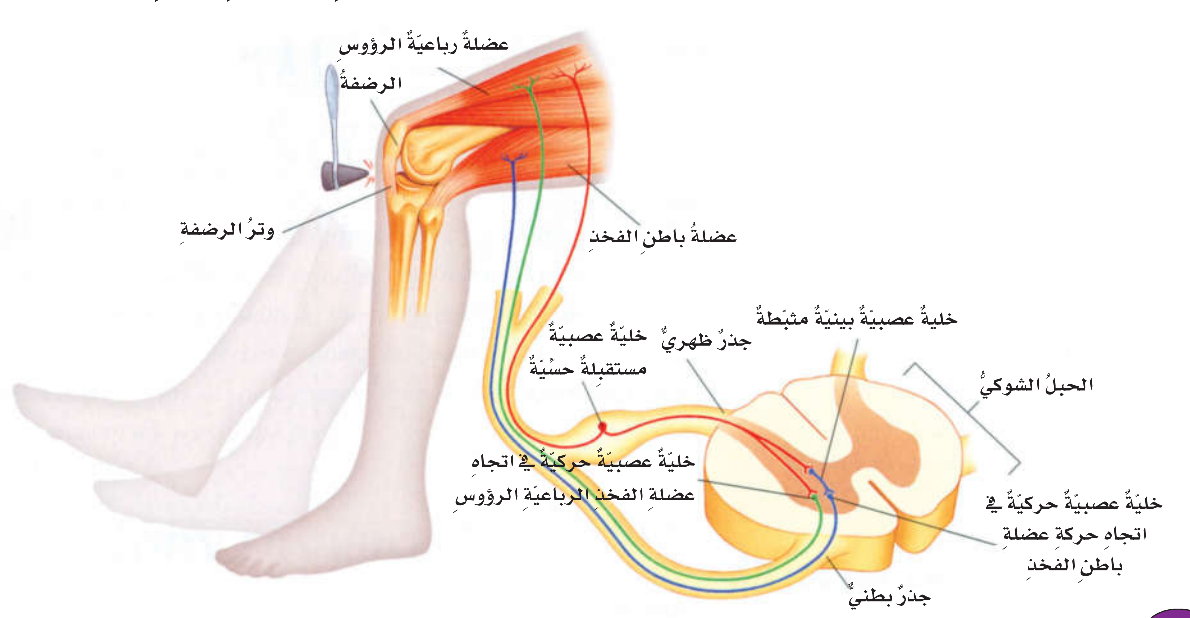
يحتوي **الجهازُ العصبيُّ الجسميُّ Somatic nervous system**، ضمنَ القسمِ الحركيِّ من الجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ، على خلايا عصبيَّةٍ حركيَّةٍ تتحكَّمُ في حركةِ العضلاتِ الهيكليَّةِ. أي إنه يحرِّكُ العضلاتِ الهيكليَّةَ بصورةٍ إراديَّة. كذلك يستطيعُ الجهازُ العصبيُّ الجسميُّ هذا أن يعملَ أيضًا، بدونِ وعيٍ منا، في التحكُّم، كأن يساعدَ في الحفاظِ على الاتزانِ الداخليِّ.

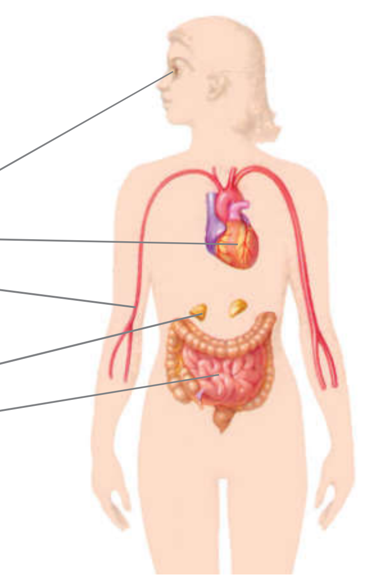
يوصلُ الجهازُ العصبيُّ الطرفيُّ الإشاراتِ **بالأفعالِ المنعكسة Reflexes**، وعملُهُ هذا استجابةٌ حركيَّةٌ مفاجئةٌ لاإراديَّةٌ، وغالبًا ما تكونُ لحمايةِ الذاتِ. يبيِّنُ الشكلُ 4-9، الفعلَ المنعكسَ للركبةِ. إن الضربَ الخفيفَ على الوترِ العضليِّ الذي يقعُ تحت الرضفةِ ينبِّهُ المستقبلاتِ الحسِّيَّةَ في عضلةِ الفخذِ الرباعيَّةِ الرؤوس. ترسلُ المستقبلاتُ سيّالاتٍ عصبيَّةً عبر الخلايا العصبيَّةِ الحسِّيَّةِ إلى المادَّةِ الرماديَّةِ في الحبلِ الشوكيِّ. فتنتقلُ السيّالاتُ العصبيَّةُ في النهاياتِ العصبيَّةِ للخلايا الحسِّيّةِ إلى الخلايا العصبيّةِ الحركيّةِ المتَّجهةِ إلى العضلةِ المنبِّهة، فتنقبضُ هذه العضلةُ. كذلك تنتقلُ السيّالاتُ العصبيّةُ في النهاياتِ العصبيّةِ للخلايا العصبيّةِ إلى الخلايا العصبيَّةِ البينيَّةِ المثبِّطةِ للخلايا العصبيّةِ الحركيّةِ للعضلةِ المعاكسة، عضلةِ باطنِ الفخذِ عند مؤخَّرةِ الفخذِ، فتنبسطُ هذه العضلةُ. إن انقباضَ عضلةِ الفخذِ الرباعيَّةِ الرؤوس، بالتوافقِ والتزامنِ مع انبساطِ عضلةِ باطنِ الفخذِ، يؤدّي إلى الدفعِ بالرجلِ إلى الأمامِ. هذا النوعُ من الاستجابةِ *يُسمّى الفعلَ المنعكسَ الشوكيَّ Spinal reflex*، وتقومُ به خلايا عصبيّةٌ موجودةٌ في الجسمِ دونَ تدخلِ الدماغ.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

جسميٌّ
Somatic
من اليونانيَّةِ **Somatikos** ومعناها «للجسم»

الشكل 4-9
الفعلُ المنعكسُ للركبةِ.





الجدولُ 1-4 تأثيراتُ القسمِ الودِّيِّ والقسمِ نظيرِ الودِّيِّ على أعضاءٍ متنوعةٍ

العضوُ	تأثيرُ القسمِ الودِّيِّ	تأثيرُ القسمِ نظيرِ الودِّيِّ
العينانِ	توسيعُ الحدقةِ	ضيقٌ في الحدقةِ
القلبُ	زيادةُ معدّلِ نبضِ القلبِ	انخفاضُ معدلِ نبضِ القلبِ
الأوعيةُ الدمويّةُ	اتساعُ الأوعيةِ الدمويّةِ المتّجهةِ نحوَ العضلاتِ الهيكليّةِ	تأثيرٌ ضئيلٌ، أو لا تأثيرٌ
الغددُ الكظريّةُ	إفرازُ الهرموناتِ	وقفُ نشاطِ الغددِ
الأمعاءُ	انخفاضُ الإفرازِ المعديِّ	ارتفاعُ الإفرازِ المَعِدِيِّ

الجهازُ العصبيُّ الذاتيُّ

يشكِّلُ **الجهازُ العصبيُّ الذاتيُّ Autonomic nervous system** جزءًا من القسمِ الحركيِّ للجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ. ويتحكَّمُ في الظروفِ الداخليّةِ السائدةِ في الجسمِ عن طريقِ ضبطِ عملِ العضلاتِ الملساءِ في الأوعيةِ الدمويَّةِ والأعضاءِ. إنهُ يتحكَّمُ في حركةِ التنفُّسِ ونبضِ القلبِ والهضمِ ومظاهرَ أخرى من الاتزانِ الداخليِّ.

يُقسَمُ الجهازُ العصبيُّ الذاتيُّ إلى قسمينِ، هما **القسمُ الودِّيُّ Sympathetic division**، و**القسمُ نظيرُ الودِّيِّ Parasympathetic division**. هذانِ القسمانِ ينبِّهانِ أو يثبِّطانِ أجهزةَ الجسمِ، وفقًا لما يظهرُ في الجدولِ 1-4. يستطيعُ الإجهادُ العاطفيُّ أو الجسميُّ أن ينشِّطَ القسمَ الودِّيَّ، فمثلاً تتسبَّبُ حالاتُ الطوارئِ كالتعرُّضِ لهجومٍ، في جعلِ القسمِ الودِّيِّ يحوِّلُ مسارَ الدمِ نحوَ القلبِ والعضلاتِ الهيكليَّةِ بعيدًا عن الأعضاءِ الهضميَّةِ. أما القسمُ نظيرُ الودّيِّ فيتحكَّمُ في المحيطِ الداخليِّ في ظلِّ الظروفِ الاعتياديّةِ. وبعد انقضاءِ فترةِ التهديدِ يحفِّزُ القسمُ نظيرُ الوديِّ الأعضاءَ للعودةِ إلى نشاطِها الاعتياديِّ، فينخفضُ تدفُّقُ الدمِ إلى القلبِ والعضلاتِ الهيكليَّةِ. وفي ظلِّ الظروفِ الاعتياديَّةِ يعملُ الجهازانِ معًا.

مراجعةُ القسمِ 2-4

1. سمِّ العضوينِ الرئيسينِ في الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ.
2. ارسمْ مقطعًا للأجزاءِ الرئيسةِ في دماغِ الإنسانِ، واذكر تأثيرَ كل جزءٍ منها.
3. سمِّ قسمَيِ الجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ. ووضِّحْ وظائفَهما.
4. فيمَ يختلفُ الجهازُ العصبيُّ الجسميُّ عن الجهازِ العصبيِّ الذاتيِّ؟
5. صفْ عملَ قسمَيِ الجهازِ العصبيِّ الذاتيِّ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

6. في الشكلِ 9-4، ماذا يحدثُ إذا تلفتِ الخلايا العصبيَّةُ المتّصلةُ بعضلةِ باطنِ الفخذِ؟
7. تُلحقُ السكتاتُ الدماغيَّةُ وُ الأذى بالخلايا العصبيَّةِ في الدماغِ. كيف يمكنُ لطبيبٍ أن يحددَ مناطقَ الدماغِ التي تأثرتْ بالسكتةِ الدماغيَّةِ؟

القسم

3-4

النواتج التعليمية

▲ يسمّي المؤثّراتِ التي يستجيبُ لها كلٌّ من الأنواعِ الخمسةِ للمستقبلاتِ الحسّيّةِ.

● يحدِّدُ أجزاءَ الأذنِ الخاصّةَ بالسمعِ والحفاظِ على التوازنِ.

■ يصفُ تركيبَ العينِ ووظائفَ الخلايا المخروطيّةِ والخلايا العَصَويّةِ في البصرِ.

◆ يصفُ كيفيَّةَ تعرُّفِ الروائحِ والمذاقاتِ المختلفةِ.

▲ يقارنُ بين عمليّاتِ التعرُّفِ إلى اللمسِ والحرارةِ والألمِ.

المستقبلات الحسّيّة

يتأثّرُ الإنسانُ بالمؤثّراتِ الداخليَّةِ والخارجيَّةِ، وهو قادرٌ على التمييزِ بين الأنواعِ المختلفةِ من المؤثّراتِ، كما أنهُ قادرٌ على فهمِها بواسطةِ المستقبلاتِ الحسّيّةِ المتطورةِ جدًّا. توفرُ المستقبلاتُ الحسّيّةِ التكاملَ بين وظائفِ الجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ والجهازِ العصبيِّ المركزيِّ. فالقسمُ الحسيُّ من الجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ يجمعُ المعلوماتِ الواردةَ من داخلِ الجسمِ ومن البيئةِ الخارجيَّةِ، ويحوّلُها إلى جُهدِ فعلٍ ينقلُها إلى مناطقَ متخصِّصةٍ في الدماغِ، حيثُ يتمُّ تفسيرُها ليتَّخذَ الجسمُ الاستجابةَ المناسبةَ.

إدراكُ المؤثّراتِ

كي تستطيعَ الكائناتُ الحيَّةُ أن تبقى على قيدِ الحياةِ، عليها أن تتعرَّفَ التغيُّراتِ في بيئتِها وأن تتفاعلَ معها بالشكلِ المناسبِ. يتعرَّفُ الإنسانُ، وكائناتٌ حيَّةٌ أخرى، التغيُّراتِ البيئيَّةَ من خلالِ **أعضاءِ الحسِّ Sense organs**، العينينِ والأذنينِ والأنفِ والفمِ والجلدِ، وهي التي تحتوي على مستقبلاتِ حسٍّ تستقبلُ المؤثّراتِ وتترجمُها إلى سيّالاتٍ عصبيَّةٍ.

مستقبلاتُ الحسِّ وأعضاؤهُ

مستقبلُ الحسِّ خليّةٌ عصبيّةٌ تتعرَّفُ المؤثّراتِ. ومستقبلاتُ الحسِّ عدةُ أنواعٍ. يمكنُ تصنيفُها التصنيفَ التاليَ، بحسبِ نوعِ المؤثّرِ الذي يستجيبُ لهُ المستقبلُ المختصُّ به:

- المستقبلاتُ الآليَّةُ تستجيبُ للحركةِ والضغطِ والشدِّ.
- المستقبلاتُ الضوئيَّةُ تستجيبُ لتغيُّراتِ الضوءِ.
- المستقبلاتُ الكيميائيَّةُ تستجيبُ للموادِّ الكيميائيَّةِ.
- المستقبلاتُ الحراريَّةُ تستجيبُ لتغيُّراتٍ في درجةِ الحرارةِ.
- مستقبلاتُ الألمِ تستجيبُ لتلفٍ يصيبُ الأنسجةَ.

توجدُ المستقبلاتُ الحسّيَّةُ في أعضاءِ الحسِّ بكثافةٍ أعلى من كثافتِها في أجزاءٍ أخرى من الجسمِ. عندما تستقبلُ مستقبلاتُ الحسِّ لعضوِ حسٍّ معيَّنٍ المؤثّرَ المناسبَ فإنها تترجمُهُ إلى سيّالاتٍ عصبيّةٍ أو جُهدِ فعلٍ، وتتولّى الخلايا العصبيّةُ الحسِّيّةُ نقلَ تلكَ السيّالاتِ إلى مناطقَ معيَّنةٍ من الدماغِ. وبما أن جهودَ الفعلِ التي تولِّدُها أعضاءُ الحسِّ المختلفةُ متماثلةٌ كهربائيًّا، فكيفَ يستطيعُ الإنسانُ أن يعرفَ أنَ المؤثِّرَ سماءٌ زرقاءُ، أو ضجيجٌ عالٍ؟ إن المناطقَ التي تفسِّرُ جُهدَ الفعلِ في الدماغِ تتنوّعُ بحسبِ تنوُّعِ المؤثّراتِ.

لكلِّ حاسَّةٍ من الحواسِّ منطقةٌ محدَّدةٌ من الدماغِ. فالسيّالاتُ التي تُنقَلُ إلى منطقةِ الإبصارِ في الفصِّ القفويِّ من المخِّ يفسرُها الدماغُ كصورٍ، حتى وإن كانَ المؤثّرُ شيئًا مختلفًا. فمثلاً، إذا تعرضتِ العينُ للكمةٍ يرى الفردُ «نجومًا». فالمؤثّرُ هنا هو ضغطُ اللّكمةِ، وقد فسَّرَهُ الدماغُ كصورةٍ.

السمعُ والتوازنُ

تؤدّي الأذنُ وظيفتينِ رئيستينِ، هما تعرُّفُ الصوتِ والحفاظُ على التوازنِ. يوجِّهُ صيوانُ الأذنِ الاهتزازاتِ الصوتيَّةَ إلى داخلِ الأذنِ. وكما في الشكل 4-10، فإن الأذنَ الخارجيَّةَ تتكوَّنُ من صيوانِ الأذنِ و**القناةِ السمعيَّةِ Auditory canal** التي تنتهي **بغشاءِ الطبلةِ Tympanic membrane**. عند مرورِ الاهتزازاتِ في هواءِ القناةِ السمعيَّةِ تهتزُّ طبلةُ الأذنِ. ويتمُّ تنظيمُ ضغطِ الهواءِ خلفَ غشاءِ الطبلةِ في الأذنِ الوسطى عن طريقِ إدخالِ الكمّيَّةِ المناسبةِ من الهواءِ إلى الأذنِ الوسطى عبرَ **قناةِ أستاكي Eustachian tube** التي تصلُ الأذنَ الوسطى بالبلعوم. وهذه القناةُ تحقِّقُ تَساويَ الضغطِ عند جانبَيْ غشاءِ الطبلةِ خلالَ حدوثِ تغييرٍ مفاجئٍ في الضغطِ الجويِّ، وهو ما يحدثُ مثلُهُ لدى المسافرينَ عندَ إقلاعِ الطائرةِ أو هبوطِها.

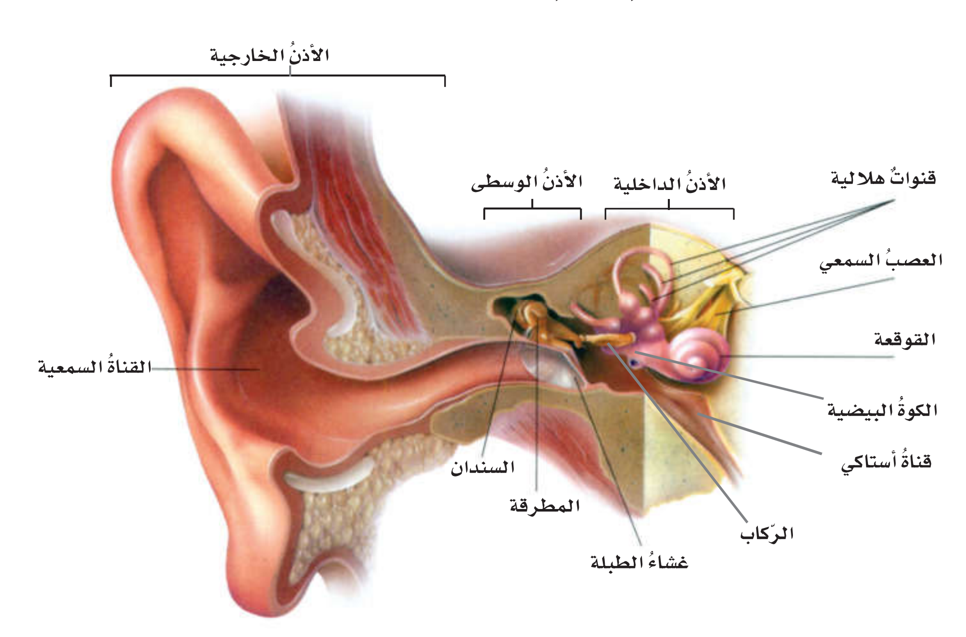
وعندما تهتزُّ طبلةُ الأذنِ تتحرَّكُ خلفَها عظيماتُ الأذنِ الوسطى: المطرقةُ والسندانُ والرِّكابُ. ينقلُ الرِّكابُ الاهتزازاتِ إلى *الكُوّةِ البيضويَّةِ Oval window* التي تفصلُ بين الأذنِ الوسطى والأذنِ الداخليّةِ. والأذنُ الداخليّةُ تحتوي على **القوقعةِ Cochlea**. والقوقعةُ أنبوبٌ حلزونيٌّ يحتوي على ثلاثِ قنواتٍ مملوءةٍ بسائلٍ، وتفصلُ بينها أغشيةٌ. تحتوي القناةُ الوسطى على عضوِ كورتي *Organ of Corti*، وهو عضوُ السمعِ. يرتكزُ عضوُ كورتي على الغشاءِ السفليِّ للقناةِ الوسطى، كما أنه يحتوي على مستقبلاتٍ آليّةٍ تسمّى *الخلايا الشَّعريَّةَ Hair cells*. تسبِّبُ الاهتزازاتُ في الكوّةِ البيضويّةِ اهتزازَ السائلِ في القوقعةِ، فيتحرَّكُ الغشاءُ السفليُّ للقناةِ الوسطى مما يجعلُ الخلايا الشَّعريَّةَ المرتكزةَ عليه تلامسُ الغشاءَ الذي يغطيها. يُنشِّطُ أنحناءُ الخلايا الشعريَّةِ قنواتٍ أيونيَّةً يحدثُ فيها تغيُّرًا في الجهدِ الكهربائيِّ، عندها تحرِّرُ الخلايا الشعريَّةُ نواقلَ عصبيَّةً تنشِّطُ خلايا عصبيَّةً في العصبِ السمعيِّ. ينتقلُ جهدُ الفعلِ عبرَ العصبِ السمعيِّ إلى منطقةِ السمعِ في جذعِ الدماغِ، ثم إلى المهادِ، وأخيرًا إلى مركزِ السمعِ في قشرةِ المخِّ حيث يتمُّ تفسيرُ الصوتِ.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

الطبلةُ

Tympanic

من اليونانيَّةِ **Tympanon**، ومعناها «الطبلةُ»



الشكل 4-10
تتسبَّبُ الموجاتُ الصوتيَّةُ، وهي اهتزازاتٌ في الهواءِ، في اهتزازِ غشاءِ الطبلةِ، ما يؤدّي إلى تحريكِ عظيماتِ الأذنِ الوسطى، فتنتقلُ الاهتزازاتُ إلى الكوّةِ البيضويّةِ. تحوِّلُ المستقبلاتُ الآليَّةُ في الأذنِ الداخليّةِ الاهتزازاتِ إلى جُهدِ فعلٍ ينقلُهُ العصبُ السمعيُّ إلى مراكزِ السمعِ في الدماغِ.

وللأذنِ، بالإضافةِ إلى تعرُّفِها الصوتَ، مهمَّةٌ ثانيةٌ هي الحفاظُ على التوازنِ بواسطةِ مستقبلاتٍ آليَّةٍ توجدُ في **القنواتِ الهلاليَّةِ Semicircular canals** الثلاثِ من الأذنِ الداخليَّةِ. تحتوي القنواتُ الهلاليَّةُ على سائلٍ، ويبطِّنُ داخلَها خلايا شعريَّةٌ تتركزُ فوقَها حبيباتٌ من كربوناتِ الكالسيوم. فعندما يتحرَّكُ رأسُ الإنسانِ تنحني الخلايا الشعريَّةُ بفعلِ الجاذبيَّةِ، أو القصورِ الذاتيِّ، على حبيباتِ كربوناتِ الكالسيوم التي تضغطُ على الخلايا الشعريَّةِ في اتجاهٍ معيّن. ينشأُ عن ذلك سيّالاتٌ عصبيّةٌ تصلُ إلى الدماغِ الذي يفسِّرُ حركةَ الرأسِ واتجاهَهُ، ويرسلُ الأوامرَ المناسبةَ لإعادةِ توازنِ الجسمِ.

البصرُ

العينانِ عضوانِ متخصِّصانِ في تعرُّفِ الضوءِ ونقلِ سيّالاتٍ إلى مناطقِ الدماغِ التي تعالجُ الإبصارَ. والعينُ تشبهُ كرةً جوفاءَ مليئةً بالسائلِ. تعملُ تراكيبُ العينِ معًا لتسقطَ الضوءَ على **الشبكيَّةِ Retina**، وهيِ الطبقةُ الداخليَّةُ من العينِ التي تتأثَّرُ بالضوءِ.

يمرُّ الضوءُ أولاً عبرَ طبقةٍ واقيةٍ شفّافةٍ تسمّى **القَرْنيَّةَ Cornea**، ثم يمرُّ عبرَ **الحدقةِ Pupil**، وهي الفتحةُ التي تؤدّي إلى داخلِ العينِ. تتسعُ الحدقةُ في الضوءِ الخافتِ وتضيقُ في الضوءِ الشديدِ. هذه الاستجابةُ اللاإراديَّةُ تتحكَّمُ فيها عضلاتُ من **القزحيّةِ Iris**، الملوَّنةِ التي تحيطُ بالحدقةِ.

وبعد مرورِ الضوءِ عبر الحدقةِ يجتازُ تركيبًا بلوريًّا محدبَ الوجهينِ يسمّى **العدسةَ Lens**، تضبطُ عضلاتٌ متَّصلةٌ بالعدسةِ شكلَ العدسةِ بحيثُ تنكسرُ أشعةُ الضوءِ الداخلِ إلى العينِ لإسقاطِ الصورةِ الضوئيَّةِ على الشبكيَّةِ.

ويوجدُ ضمنَ الشبكيَّةِ خلايا عصويَّةٌ وخلايا مخروطيَّةٌ، وهي مستقبلاتٌ ضوئيّةٌ تترجمُ المؤثِّراتِ الضوئيَّةَ إلى سيّالاتٍ يمكنُ أن يفسِّرَها الدماغُ. تحتوي **الخلايا العصويَّةُ Rods** على الرودوبسين، وهو صِبْغٌ يتأثَّرُ بالضوءِ ويجعلُ الخلايا العصويَّةَ تستجيبُ للضوءِ الخافتِ. أما **الخلايا المخروطيَّةُ Cones** في الشبكيَّةِ فتتأثَّرُ بالضوءِ الساطعِ. وتسهمُ الخلايا المخروطيَّةُ في إنتاجِ صورٍ دقيقةٍ كما تستجيبُ لألوانٍ مختلفةٍ.

يوجدُ عند الإنسانِ ثلاثةُ أنواعٍ من الخلايا المخروطيَّةِ. يحتوي كلُّ نوعٍ على صِبْغٍ يمتصُّ أطوالاً موجيَّةً مختلفةً من الضوءِ. وعندما يحلِّلُ الدماغُ السيّالاتِ الآتيةَ إليه من الأنواعِ الثلاثةِ من الخلايا المخروطيَّةِ، يصبحُ بإمكانِ الإنسانِ التعرُّفَ إلى ألوانِ الطيفِ المرئيِّ. إن أيَّ خللٍ أو غيابٍ لأحدِ أنواعِ الخلايا المخروطيَّةِ، يؤدّي إلى عمى الألوانِ *Colorblindness*، وهو مرضٌ لا يمكِّنُ صاحبَهُ من تمييزِ ألوانٍ محدَّدةٍ. كلُّ مستقبلٍ ضوئيٍّ يستجيبُ للضوءِ من موقعٍ واحدٍ في المجالِ البصريِّ. وتنتقلُ السيّالاتُ من المستقبلاتِ الضوئيَّةِ في أعمقِ طبقةٍ من الشبكيَّةِ إلى الخلايا العصبيَّةِ عند سطحِ الشبكيَّةِ. الملايينُ من محاورِ هذه الخلايا العصبيّةِ تخرجُ من العينِ لتشكِّلَ

نشاطٌ عمليٌّ سريعٌ

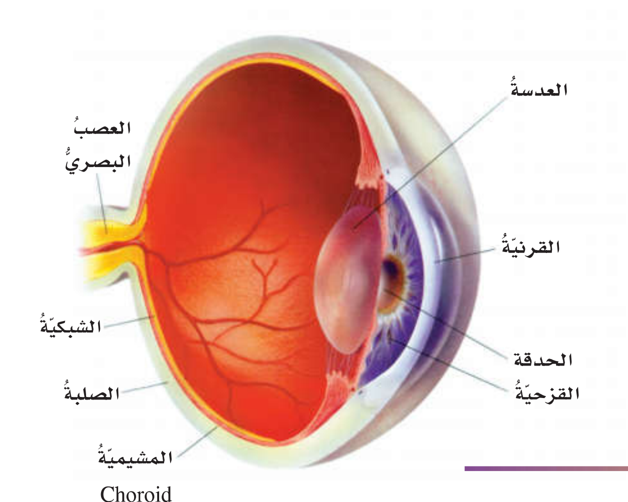
ملاحظةُ عدسةٍ

الموادُّ كأسٌ، ماءٌ، صحيفةٌ، أربعُ قطراتٍ من الزيتِ.

الإجراءُ لاحظِ الصحيفةَ من خلالِ جوانبِ كأسٍ فارغةٍ. املأِ الكأسَ بالماءِ ثم لاحظِ الصحيفةَ من خلالِ الماءِ. أضفْ أربعَ قطراتٍ من الزيتِ إلى سطحِ الماءِ. لاحظِ الصحيفةَ من خلالِ قطراتِ الزيتِ والماءِ. لاحظْ أيَّ فرقٍ تراهُ في حجمِ الحرفِ الطباعيِّ.

التحليلُ استدلَّ على سببِ تغيُّرِ حجمِ الحرفِ الطباعيِّ عند ملاحظتِكَ الصحيفةَ من خلالِ الماءِ. ما تركيبُ العينِ الذي يتمثَّلُ بالزيتِ عند سطحِ الماءِ؟

العصبَ البصريَّ. والعصبُ البصريُّ ينقلُ السيّالاتِ البصريَّةَ على صورةِ جُهدِ فعلٍ من الشبكيَّةِ إلى المهادِ. ثم ينتقلُ جُهدُ الفعلِ إلى الفصِّ القفويِّ في قشرةِ المخِّ، حيثُ تفسَّرُ السيّالاتُ البصريَّةُ وتصبحُ ذاتَ معنى من حيثُ الشكلُ واللونُ. يبيِّنُ الشكلُ 4-11 تركيبَ العينِ.



الشكل 4-11

ينتقلُ الضوءُ الذي يدخلُ العينَ، عبر القرنيَّةِ والحدقةِ والعدسةِ، إلى الشبكيَّةِ التي تحتوي على ملايين المستقبلاتِ الضوئيَّةِ. عند تنشيطِ هذه المستقبلاتِ تتولَّدُ سيّالاتٌ عصبيَّةٌ تتوجَّهُ عبرَ العصبِ البصريِّ إلى المراكزِ البصريَّةِ في الدماغِ، فأولاً إلى المهادِ، وأخيرًا إلى منطقةِ البصرِ في الفصِّ القفويِّ في قشرةِ المخِّ.

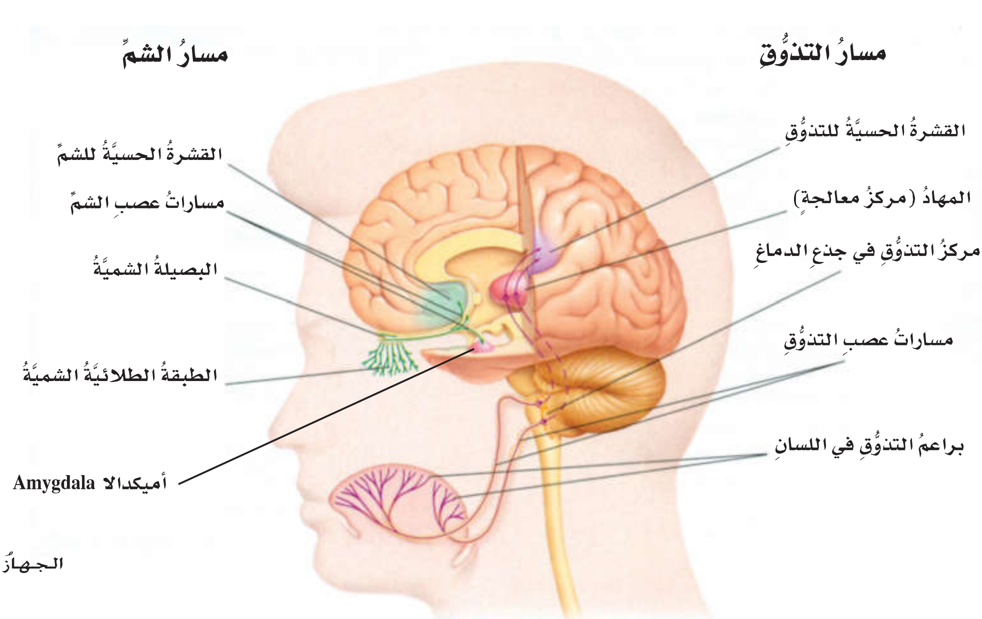
التذوُّقُ والشمُّ

يتعرفُ الإنسانُ مذاقاتٍ وروائحَ مختلفةً عن طريقِ مستقبلاتٍ كيميائيَّةٍ متخصِّصةٍ. تتجمعُ المستقبلاتُ الكيميائيّةُ للتذوُّقِ في **براعمِ التذوُّقِ Taste buds**، تكونُ معظمُ براعمِ التذوقِ، التي يبلغُ عددُها حواليَّ 10,000 برعمٍ، قائمةً على اللسانِ بين نتوءاتٍ تسمّى **الحلماتِ Papillae**. ومنها ما يوجدُ أيضًا في البلعومِ وعند سقفِ الفمِ. تدخلُ الموادُّ الكيميائيَّةُ الموجودةُ في الطعامِ، والتي أُذيبتْ في اللعابِ، إلى برعمِ التذوُّقِ من خلالِ فتحةٍ صغيرةٍ، فترتبطُ بالمستقبلاتِ وتنبِّهُ الخلايا العصبيَّةَ التي تبطِّنُ السطوحَ الداخليةَ لبراعمِ التذوقِ. وكما يظهرُ في الشكلِ 4-12، تتَّجهُ السيّالاتُ العصبيَّةُ للتذوُّقِ إلى جذعِ الدماغِ الذي يوصلُها إلى المهادِ، وأخيرًا إلى منطقةِ التذوُّقِ في قشرةِ المخِّ حيثُ يتمُّ تفسيرُها.

وتتعرَّفُ مستقبلاتٌ في سقوفِ التجاويفِ الأنفيَّةِ الموادَّ الكيميائيَّةَ التي في الهواءِ. المستقبلاتُ الكيميائيَّةُ المتخصِّصةُ والتي تسمّى مستقبلاتِ الشمِّ **Olfactory receptors**، توجدُ في الغشاءِ الطلائيِّ المخاطيِّ الذي يغلِّفُ تجاويفَ الأنفِ. إن ارتباطَ جزيئاتِ الرائحةِ بجزيئاتِ مستقبلةٍ خاصّةٍ موجودةٍ في مستقبلاتِ الشمِّ، تنبِّهُ هذه المستقبلاتُ فتنتقلُ السيّالاتُ العصبيَّةُ إلى البصيلةِ الشميَّةِ، وهي تركيبٌ في الجهازِ الحوفيِّ **Limbicsystem**. ومن ثمَّ تنتقلُ إلى منطقةِ الشمِّ في قشرةِ المخِّ كذلك ينتقل إلى أميكدالا **Amygdala** (شكل لوزي) تركيب آخر من الجهاز الحوفي.

الشكل 4-12

التذوُّقُ والشمُّ حسّانِ كيميائيّانِ. تلتصقُ مستقبلاتُ الحسِّ الموجودةُ في الفمِ وفي غشاءِ التجاويفِ الأنفيَّةِ بجزيئاتٍ من المحيطِ البيئيِّ. فتنشأُ سيّالاتٌ عصبيَّةٌ تنتقلُ إلى الدماغِ.



الضغطُ والحرارةُ

توفِّرُ المستقبلاتُ الآليّةُ التي تنتشرُ في الجلدِ إمكانيَّةَ الإحساسِ باللمسِ والضغطِ والشَّدِّ. وتتركَّزُ مستقبلاتُ اللمسِ عند الإنسانِ في الوجهِ واللسانِ وأطرافِ الأصابعِ. كذلك يساهمُ شعرُ جسمِ الإنسانِ في الإحساسِ باللمسِ، لأن انحناءَ الشعرِ ينبِّهُ عددًا كبيرًا من المستقبلاتِ الآليَّةِ الموجودةِ عند قاعدةِ بصيلةِ الشعرِ في الجلدِ.

وفي الجلدِ يقومُ نوعانِ من المستقبلاتِ الحراريّةِ المتخصِّصةِ بمراقبةِ درجةِ الحرارةِ. إن مستقبلاتِ البرودةِ هي الأكثرُ تحسُّسًا لدرجاتِ الحرارةِ دون الـ 20 درجةً مئويّةً. أما مستقبلاتُ السخونةِ فتستجيبُ لدرجاتِ الحرارةِ التي تتراوحُ بين 30 و 45 درجةً مئويّةً تقريبًا.

وتتركَّزُ في الجلدِ والجسمِ مستقبلاتُ الألمِ التي تتألَّفُ من خلايا عصبيَّةٍ حسِّيّةٍ تقعُ عند قاعدةِ البشرةِ وفي داخلِ الجسمِ كلِّهِ. وإن الطاقةَ الآليّةَ والحراريّةَ والكهربائيّةَ والكيميائيّةَ تنبِّهُ مستقبلاتِ الألمِ. ويختلفُ نوعُ مستقبلاتِ الألمِ وعددُها باختلافِ مواقعِها في الجسمِ. فعلى سبيلِ المثالِ، توجدُ مستقبلاتُ الألمِ بكثافةٍ في الفمِ واليدينِ.

تنتقلُ السيّالاتُ القادمةُ من المستقبلاتِ في الجلدِ، أي مستقبلاتِ اللمسِ والحرارةِ والألمِ والضغطِ، إلى الحبلِ الشوكيِّ ومنه إلى جذعِ الدماغِ، ومن ثَمَّ إلى المهادِ، وأخيرًا إلى مركزِ الوظيفةِ الحسِّيّةِ - الحركيَّةِ في الفصِّ الجداريِّ من قشرةِ المخِّ حيثُ يتمُّ تفسيرُها.

مراجعةُ القسمِ 3-4

1. ميِّزْ بين الأنواعِ الخمسةِ لمستقبلاتِ الحسِّ.
2. كيف تميِّزُ مناطقُ تفسيرِ الإحساسِ في الدماغِ بين الأنواعِ المختلفةِ من التنبيهاتِ؟
3. ما الوظيفتانِ الرئيستانِ للأذنِ؟
4. وضِّحْ كيف يتمُّ الإحساسُ بالضوءِ.
5. ما دورُ الخلايا المخروطيَّةِ والخلايا العصويَّةِ في الإبصارِ؟
6. ما الآليّاتُ المشتركةُ بين حاسَّةِ التذوُّقِ وحاسَّةِ الشمِّ؟
7. ما دورُ الجلدِ في الإحساسِ بالبيئةِ الخارجيَّةِ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

8. ما أهمِّيةُ الوجودِ الكثيفِ لمستقبلاتِ الألمِ في اليدينِ والفمِ؟

القسم

4-4

النواتج التعليمية

- ▲ يحدِّدُ العلاقةَ بين الإدمانِ والتحمُّلِ.
- ● يوضحُ كيفَ يدمنُ الجسمُ على الكوكايين.
- ■ يميِّزُ ستةَ أنواعٍ من العقاقيرِ المؤثِّرةِ نفسيًّا.
- ◆ يوضحُ تأثيراتِ الكحولِ والتبغِ على الجسمِ.

العقاقيرُ والجهازُ العصبيُّ

العقاقيرُ Drugs موادُّ تسبِّبُ تغيُّرًا في حالةِ الشخصِ الجسميَّةِ أو النفسيَّةِ. يوجدُ الكثيرُ من العقاقيرِ الجائزِ استخدامُها قانونيًّا، وهي متوفِّرةٌ لعامةِ الناسِ. وفي المقابلِ توجدُ عقاقيرُ أخرى لا يجوزُ استخدامُها قانونيًّا. وسواءٌ أكانت العقاقيرُ مما يجوزُ استخدامُهُ قانونيًّا أو لا، فإن العقاقيرَ يمكنُ إساءةُ استخدامِها أو الإفراطُ في تعاطيها.

العقاقيرُ المؤثِّرةُ نفسيًّا

تستطيعُ المركَّباتُ الكيميائيَّةُ الطبيعيَّةُ، أو التي يصنِّعُها الإنسانُ، أن تعدِّلَ في وظيفةِ الجهازِ العصبيِّ. فالعقارُ **المؤثِّرُ نفسيًّا Psychoactive drug**، هو عقارٌ يعدِّلُ في وظيفةِ الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ. وذلك مثلُ الكوكايين، وهو عقارٌ مصدرُهُ النباتُ. انظرِ الشكلَ 4-13.

الإدمانُ والتحمُّلُ

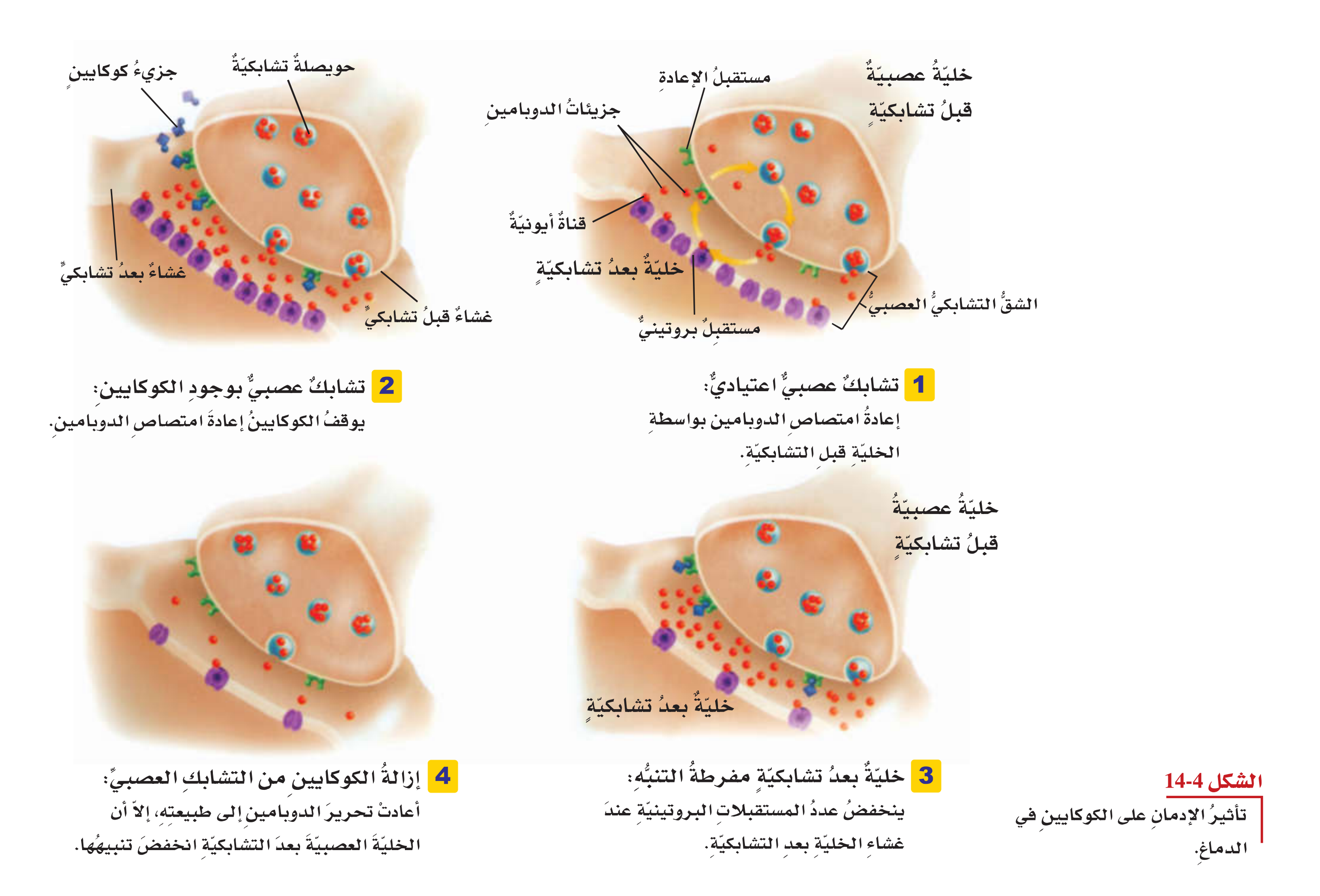
الإفراطُ في استخدامِ العقاقيرِ المؤثِّرةِ نفسيًّا يغيِّرُ في الوظيفةِ الاعتياديَّةِ للخلايا العصبيَّةِ والتشابكاتِ العصبيَّةِ. فغالبًا ما يؤدّي هذا الإفراطُ إلى حالةِ **التعوُّدِ Dependence**. والاعتمادُ حالٌ يتَّكلُ فيها الإنسانُ على العقارِ جسميًّا أو نفسيًّا كي يقومَ بأعمالِهِ. ويؤدي الاعتمادُ، في الغالبِ، إلى **الإدمانِ Addiction**، وهو حالٌ يعجزُ معها الإنسانُ عن التحكُّمِ في استخدامِهِ للعقارِ.

ومع الاستخدامِ المتكرِّرِ للعقارِ، يُظهرُ الإنسانُ المدمنُ قدرةً على تحمُّلِ آثارِ هذا العقارِ. فالتحمُّلُ **Tolerance** صفةٌ للإدمانِ على عقارٍ، حيث يصبحُ المدمنُ محتاجًا إلى استخدامِ كميّاتٍ أكبرَ وأكبرَ من هذا العقارِ لبلوغِ الإحساسِ المرغوبِ فيه. والجرعةُ الفاعلةُ، أي الكميَّةُ التي توفِّرُ الشعورَ المرغوبَ فيه، مميتةٌ بالنسبةِ لمستخدميّ بعضِ العقاقيرِ. فكلّما ازدادَ التحمُّلُ وتزايدت *الجرعةُ الفاعلةُ Effective dose*، يقتربُ المدمنُ من *الجرعةِ المميتةِ Lethal dose*، أي كميَّةِ العقارِ التي تؤدّي إلى قتلِ مستخدمِها.

وفي غيابِ العقارِ يمرُّ المدمنونَ في حالةِ **الانقطاعِ Withdrawal**، وهي استجابةٌ نفسيَّةٌ وجسميَّةٌ لغيابِ العقارِ. وتظهرُ قسوةُ الاعتمادِ على العقارِ عند المدمنينَ الذين يتعافونَ من الإدمانِ بعدما خَبروا حالةَ الانقطاعِ أثناءَ توقُّفِهِم عن تناولِ العقارِ المؤدّي إلى الإدمانِ. وتختلفُ أعراضُ الانقطاعِ بحسبِ نوعِ العقارِ المستخدمِ بإفراطٍ، وطولِ فترةِ الاستخدامِ. وقد تشتملُ الأعراضُ على التقيُّؤِ والصداعِ والأرقِ والصعوبةِ في التنفُّسِ والاكتئابِ والاضطرابِ الذهنيِّ والنوباتِ العصبيَّةِ. ويمكنُ للانقطاعِ عن



الشكل 4-13
يُستخرَجُ الكوكايينُ، وهو عقارٌ مؤثرٌ نفسيًّا ومسبِّبٌ للإدمانِ، من نباتِ الكوكا *Erythroxylum coca*.



الشكل 14-4
تأثيرُ الإدمانِ على الكوكايين في الدماغِ.

عقاقيرَ مثلِ الكحولِ والمسكّناتِ، أن يتهدَّدَ حياةَ المدمنين. لذلك، غالبًا ما يعالَجُ المدمنونَ الذين يمرّونَ في حالةِ انقطاعٍ عن العقاقيرِ، في المستشفياتِ، حيثُ يتمكَّنُ الأطباءُ من مراقبةِ استجاباتِهم.

التغيُّراتُ العصبيّةُ

الكوكايينُ مادة **منبِّهة Stimulant** تتسبَّبُ في درجةٍ عاليةٍ من الإدمانِ، ما يعني أنّها تزيدُ من نشاطِ الجهازِ العصبيِّ. والشعورُ بالإثارةِ الذي يبحثُ عنهُ متعاطو الكوكايين ناتجٌ عن تأثيرِ هذه المادة في الخلايا العصبيّةِ للدماغ. ويلخِّصُ الشكلُ 4-14 تأثيرَ الإدمانِ على الكوكايين في الدماغِ.

العقاقيرُ وإساءةُ استخدامِها

إن اقتناءَ العقاقيرِ المؤثِّرةِ نفسيًّا يخالفُ القانونَ. يوردُ الجدولُ 4-2 أنواعًا من العقاقيرِ المؤثِّرةِ نفسيًّا وتأثيراتِ سوءِ استخدامِها.

الجدولُ 2-4 العقاقيرُ المؤثّرةُ نفسيًّا وإساءةُ استخدامِها (للاطلاع)

نوعُ المادةِ	الأمثلة	التأثيراتُ النفسيّةُ	مخاطرُ الاستخدام
المثبِّطاتُ	الكحولُ، المسكِّناتُ، المهدئاتُ	خفضُ نشاطِ الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ، اختلالٌ في الحكمِ على الأمورِ، فقدُ التحكُّمِ في الحركةِ، اضطرابٌ في الإدراكِ، تسكينُ الألمِ	دُوارٌ، إحباطٌ، تلفٌ في الكبدِ، تلفٌ في الدماغِ أو الأعصابِ، قصورٌ تنفُّسيٌّ، غيبوبةٌ
المنبِّهاتُ	الأمفيتامينات، الكوكايينُ، النيكوتينُ	ازديادُ نشاطِ الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ، شعورٌ مؤقّتٌ بالانتعاشِ، حدّةُ الطبعِ، قلقٌ، ارتفاعُ ضغطِ الدمِ، زيادةُ معدّلِ نبضِ القلبِ	أرقٌ، تعدُّدٌ في الشخصيّةِ، أوهامٌ، فقدُ التحكُّمِ، تلفُ الدماغِ، شللٌ تنفُّسيٌّ، عدمُ انتظامِ نبضِ القلبِ، توقُّفُ القلبِ
المخدِّراتُ	الكودِيين، الهيرويين، المورفين، الأفيون	شعورٌ مؤقّتٌ بالنشاطِ والخفّةِ، خللٌ في الأفعالِ المنعكسةِ وفي تفسيرِ الإحساسِ، تسكينُ الألمِ	غيبوبةٌ، قصورٌ تنفُّسيٌّ
المُهَلوساتُ	LSD، الإكستاسي، المسكالينُ، فطرُ سيلوسايب Psilocybe	اضطراباتٌ حسِّيّةٌ، هلوسةٌ، أوهامٌ، قلقٌ، تَلَعْثُمٌ في الكلامِ، خَدَرٌ، عنفٌ في السلوكِ	إحباطٌ، تعدُّدٌ في الشخصيةِ، سلوكٌ عدائيٌّ، تلفُ الدماغِ
تتراهيدروكنابينول THC	الحشيشةُ، الماريجوانا	شعورٌ مؤقّتٌ بالنشاطِ والخفّةِ، فقدُ ذاكرةٍ قصيرُ الأمدِ، اضطرابٌ في إصدارِ الأحكامِ، هلوساتٌ	تلفٌ في الرئةِ، فقدُ الشعورِ بالتحفيزِ
المستنشَقاتُ	البخّاخاتُ، الإيثرُ Ether، الصمغُ اللاصقُ، أكسيدُ النيتروجينِ، مُرقِّقُ الدهانِ	فقدُ القدرةِ على تحديدِ الاتجاهاتِ، إرباكٌ، فقدُ الذاكرةِ، تسكينُ الألمِ	تلفٌ في الدماغِ، تشنُّجاتٌ، تلفٌ في الكبدِ والكليتين، قصورٌ تنفُّسيٌّ وقلبيٌّ

الكحولُ

الكحولُ مادةٌ **مثبِّطة Depressant**، تخفِّضُ نشاطَ الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ، كما أنّها تزيدُ تدفُّقَ الدمِ إلى الجلدِ، وتخفِّضُ تدفّقَ الدمِ إلى الأعضاءِ الداخليّةِ، وبالتالي تخفِّضُ درجةَ حرارةِ الجسمِ. ومن تأثيراتِ الكحولِ جَعْلُ الكلى تُخرجُ المزيدَ من الماءِ، مما قد يتسبَّبُ في الجفافِ. ويؤدّي تواصلُ شربِ الكحولِ إلى إعاقةِ تنظيمِ الحركةِ وإصدارِ الأحكامِ، وإلى التلَعْثُمِ في الكلامِ والتأخُّرِ في الاستجابةِ. ويؤدي شربُ الكحولِ إلى نقصٍ في معدَّلِ التنفُّسِ بعدَ ارتفاعِهِ في البدايةِ. لذلكَ يمكنُ أن يؤدّي شربُ كميّاتٍ كبيرةٍ من الكحولِ إلى الموتِ بسببِ قصورٍ تنفُّسيٍّ. وتعتمدُ شدّةُ هذهِ التأثيراتِ بشكلٍ كبيرٍ على نسبةِ **تركيزِ الكحولِ في الدمِ Blood Alcohol Concentration (BAC)**. عندما يصلُ تركيزُ الكحولِ في الدمِ إلى 0.30 أو أكثرَ، يمكنُ أن يؤدّيَ ذلك إلى فقدِ الوعيِ، وإذا بلغَ التركيزُ 0.50 فيمكنُ أن يكونَ قاتلاً. الكحولُ سببٌ لما يقاربُ 50% من حوادثِ السياراتِ القاتلةِ التي تشملُ الشبابَ. وللكحولِ دورٌ في حدوثِ تفاعلاتٍ عقاقيريّةٍ مؤذيةٍ. فمثلاً عندَ دمجِ الكحولِ مع عقارٍ آخرَ مثبِّطٍ، قد تؤدّي التأثيراتُ التراكميّةُ إلى إبطاءِ عملِ

الأجهزةِ التنفُّسيّةِ حتّى إحداثِ الوفاةِ. أما تناولُ الكحولِ أثناءَ الحملِ فقد يؤدّي إلى حدوثِ *متلازمةِ الكحولِ الجنينيّةِ Fetal alcohol syndrome*، الشكل 4-15.

التبغُ

النيكوتينُ Nicotine هو العقارُ الرئيسُ الموجودُ في التبغِ، الشكل 4-16. وهو منبِّهٌ يتسبَّبُ بدرجةٍ عاليةٍ في الإدمانِ. عندما يمضغُ الإنسانُ التبغَ أو يستنشقُ دخانَهُ، يتمُّ امتصاصُ الدمِ للنيكوتينِ عبرَ الفمِ والرئتينِ. ثم ينتشرُ بسرعةٍ في الجسمِ، كما ينتقلُ عند النساءِ الحواملِ إلى أجنَّتِهِنَّ.

يحاكي تأثيرُ النيكوتينِ تأثيرَ الناقلِ العصبيِّ *الأسيتيل كولين Acetylcholine* الذي يلعبُ دورًا في العديدِ من الأنشطةِ الجسميّةِ اليوميّةِ. ويرفعُ النيكوتينُ ضغطَ الدمِ ومعدَّلَ نبضاتِ القلبِ، كما يخفِّضُ من تزويدِ أنسجةِ الجسمِ بالأكسجينِ ومن تزويدِ اليدينِ والقدمينِ بالدمِ. والنيكوتينُ سامٌّ، فجرعةٌ من 60 mg من النيكوتينِ هي جرعةٌ قاتلةٌ.

وليسَ النيكوتينُ المادَّةَ الضارَّةَ الوحيدةَ الموجودةَ في التبغِ. فاحتراقُ التبغِ ينتجُ عنهُ مادةُ *القطرانِ Tars*، وهي مزيجٌ معقَّدٌ من الموادِّ الكيميائيَّةِ ومن دقائقِ الدخانِ. يغطّي القطرانُ الأهدابَ التي تبطِّنُ القنواتِ التنفُّسيَّةَ وتطردُ الدقائقَ العالقةَ فيها، وهو بذلكَ يشلُّ عملَ هذه الأهدابِ. ويهيِّجُ القطرانُ الأنفَ والحنجرةَ والقصبةَ الهوائيَّةَ والشعَيباتِ الهوائيَّةَ فيسبِّبُ ألمَ الحنجرةِ والسعالَ.

إن استخدامَ منتجاتِ التبغِ لمدَّةٍ طويلةٍ يتركُ تأثيراتٍ عديدةً. فإنَّ ما يقاربُ 25% من حالاتِ نوباتِ القلبِ ترتبطُ بالتدخينِ واستخدامِ التبغِ. ويسبِّبُ التدخينُ سرطانَ الرئةِ، وهو أكثرُ أشكالِ السرطانِ شيوعًا. يشكو الكثيرونَ من المدخنينَ من *التهابِ الشُّعبِ الهوائيّةِ المزمنِ Chronic bronchitis*، أو **الانتفاخِ الرئويِّ Emphysema**، وهو مرضٌ رئويٌّ تفقدُ معهُ الحويصلاتُ الهوائيّةُ مرونتَها إلى أن تنفجرَ.

أمّا الذينَ يمضغونَ التبغَ ويعتمدونَ استنشاقَ المسحوقِ، فيشكونَ من نسبٍ أعلى لحالاتِ سرطانِ الشفاهِ واللثَّةِ والفمِ من الذينَ يدخنونَ التبغَ. وتتعرَّضُ كذلك النساءُ الحواملُ المدخِّناتُ للإجهاضِ بنسبةِ الضعفينِ مقارنةً بالأمهاتِ غيرِ المدخناتِ، ويكونُ وزنُ أطفالِهِنَّ عندَ الولادةِ أقلَّ من وزنِ أطفالِ الأمهاتِ غيرِ المدخناتِ، ويمكنُ أن يموتَ أطفالُهنَّ في الأشهرِ القليلةِ الأولى من حياتِهِمْ بنسبةِ الضعفينِ أيضًا.

الشكل 4-15

يظهرُ عندَ هذه الطفلة بعضُ العيوبِ الجسميَّةِ التي تترافقُ معَ متلازمةِ الكحولِ الجنينيَّةِ. وغالبًا ما يشكو الأطفالُ المصابونَ بهذهِ المتلازمةِ من إعاقةٍ جسميَّةٍ وذهنيَّةٍ وسلوكيَّةٍ وتعلُّميَّةٍ.



الشكل 4-16

النيكوتينُ منبِّهٌ موجودٌ في أوراقِ نباتِ التبغِ.



مراجعةُ القسمِ 4-4

1. ما العلاقةُ بينَ الإدمانِ والتحمُّلِ؟
2. صِفْ آليَّةَ عملِ الكوكايينِ في حالِ الإدمانِ.
3. ما الأنواعُ الستّةُ للعقاقيرِ المؤثِّرةِ نفسيًّا؟
4. ما الاختلافُ بينَ العقارِ المنبِّهِ والعقارِ المثبِّطِ؟
5. سمِّ بعضَ تأثيراتِ تناولِ الكحولِ.
6. ما معنى تركيزِ الكحولِ في الدمِ؟
7. ما تأثيراتُ منتجاتِ التبغِ على الجسمِ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

8. لاحظْ نموذجَ الإدمانِ على الكوكايينِ، ما يظهرُ في الشكل 4-14. كيفَ يوضحُ هذا النموذجُ ظاهرةَ التحمُّلِ؟
9. انَّ الذينَ يفرطونَ في استخدامِ العقاقيرِ، ولمدَّةٍ طويلةٍ، حتى يصبحوا على درجةٍ عاليةٍ من التحمُّلِ، تهدِّدُ حياتَهُمُ الجرعةُ الفاعلةُ. وضِّحْ لماذا؟

مراجعةُ الفصل 4

ملخصٌ / مفرداتٌ

1-4

- الخلايا العصبيّةُ هي خلايا متخصِّصةٌ تنقلُ المعلوماتِ، وبسرعةٍ، على شكلِ سيّالاتٍ عصبيّة، عبرَ كافةِ أنحاءِ الجسم.
- عندما تكونُ الخليّةُ العصبيّةُ في حالةِ الراحة، يتّصفُ داخلُها بشحنةٍ كهربائيّةٍ سالبةٍ مقارنةً له بخارجِها.
- خلالَ جُهدِ الفعل، تنعكسُ قطبيّةُ الغشاءِ لفترةٍ وجيزةٍ، بينما تنتشرُ أيوناتُ الصوديوم Na^+ إلى داخلِ الخليّةِ عبرَ قنواتٍ أيونيّةٍ.
- عندما يصلُ جهدُ الفعلِ إلى غشاءِ الخليّةِ العصبيّةِ قبلَ التشابكيّةِ يتمُّ تحريرُ نواقلَ عصبيّةٍ داخلَ التشابكِ العصبيِّ.

مفرداتٌ

إعادةُ الاستقطاب Repolarization (70)
التشابكُ العصبيُّ Synapse (67)
جسمُ الخليّةِ Cell body (67)
الجهازُ العصبيُّ Nervous system (67)
جهدُ الراحة Resting potential (69)
جهدُ الغشاء Membrane potential (68)
جهدُ الفعل Action potential (67)
الخليّةُ العصبيّةُ Neuron (67)
الزائدةُ الشجَيريّةُ Dendrite (67)
الغلافُ المايلينيُّ Myelin sheath (67)
فترةُ الامتناع Refractory period (70)
المحوَر Axon (67)
الناقلُ العصبيُّ Neurotransmitter (67)
النهاياتُ العصبيّةُ Nerve endings (67)

2-4

- الجهازُ العصبيُّ قسمان: الجهازُ العصبيُّ المركزيُّ، والجهازُ العصبيُّ الطرفيُّ.
- الجهازُ العصبيُّ المركزيُّ مكوَّنٌ من الدماغِ والحبلِ الشوكيِّ.
- الجهازُ العصبيُّ الطرفيُّ مكوَّنٌ من أعصابٍ دماغيّةٍ وأعصابٍ شوكيّةٍ.
- يحتوي القسمُ الحسِّيُّ للجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ على خلايا عصبيَّةٍ حسِّيّةٍ وعلى خلايا عصبيَّةٍ بينيَّةٍ تصلُهُ بالجهازِ العصبيِّ المركزيِّ. يسمحُ القسمُ الحركيُّ للجسمِ بأن يتفاعلَ مع المعلوماتِ الحسيَّة.
- يتحكَّمُ الجهازُ العصبيُّ الجسميُّ في العضلاتِ الهيكليَّة. وهو خاضعٌ للتحكُّمِ الإراديِّ.
- يتحكَّمُ الجهازُ العصبيُّ الذاتيُّ بظروفِ الجسمِ الداخليَّةِ.

مفرداتٌ

تحتُ المهاد Hypothalamus (74)
جذعُ الدماغ Brain stem (74)
الجهازُ العصبيُّ الجسميُّ Somatic nervous system (76)
الجهازُ العصبيُّ الذاتيُّ Autonomic nervous system (77)
الجهازُ العصبيُّ الطرفيُّ Peripheral nervous system (72)
الجهازُ العصبيُّ المركزيُّ Central nervous system (72)
الخليةُ العصبيةُ البينيَّةُ Interneuron (75)
الخليَّةُ العصبيَّةُ الحركيَّةُ Motor neuron (75)
الدماغُ الأوسطُ Midbrain (74)
العصبُ Nerve (75)
الفعلُ المنعكسُ Reflex (76)
القسمُ الودّيُّ Sympathetic division (77)
القسمُ نظيرُ الودّيّ Parasympathetic division (77)
قشرةُ المخِّ Cerebral cortex (73)
القنطرةُ Pons (74)
المُخُّ Cerebrum (73)
المُخَيخُ Cerebellum (74)
المستقبلاتُ الحسّيَّةُ Sensory receptors (75)
المهادُ Thalamus (74)
النُخاعُ المستطيلُ Medulla oblongata (74)

3-4

- تحوِّلُ الأذنُ الصوتَ إلى سيّالاتٍ عصبيَّةٍ يتمُّ تفسيرُها في الدماغِ.
- تحوِّلُ المستقبلاتُ الضوئيَّةُ في العينينِ الضوءَ إلى سيّالاتٍ يتمُّ تفسيرُها في الدماغِ.
- إن تنبيهَ الخلايا العصبيَّةِ لبراعمِ التذوُّقِ يتمُّ تفسيرُهُ على صورةِ تذوُّقٍ. المستقبلاتُ الشمِّيَّةُ، في غلافِ التجاويفِ الأنفيَّةِ، تنقلُ سيّالاتٍ إلى الدماغِ، حيثُ يتمُّ تفسيرُها على صورةِ رائحةٍ.

مفرداتٌ

البؤبؤ Pupil (80)
برعُمُ التذوُّقِ Taste bud (81)
الحلَمةُ Papilla (81)
الخليَّةُ العصويَّةُ Rod (80)
الخليَّةُ المخروطيَّةُ Cone (80)
الدهليزُ Vestibule (80)
الشبكيَّةُ Retina (80)
العدسةُ Lens (80)
عضوُ الحسِّ Sense organ (78)
غشاءُ الطبلةِ Tympanic membrane (79)
القرنيَّةُ Cornea (80)
القزحيَّةُ Iris (80)
قناةُ أستاكي Eustachian tube (79)
القناةُ السمعيَّةُ Auditory canal (79)
القناةُ الهلاليَّةُ Semicircular canal (80)
القوقعةُ Cochlea (79)
المستقبِلُ الشمِّيُّ Olfactory receptor (81)

4-4 ■ العقاقيرُ المؤثِّرةُ نفسيًّا تؤثِّرُ في الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ. الاعتمادُ (التعوُّدُ) هو حاجةٌ جسميّةٌ أو نفسيّةٌ إلى عقارٍ. التحمُّلُ هو صفةٌ للإدمانِ تبرزُ معهُ الحاجةُ إلى كميّاتٍ متزايدةٍ من العقارِ.

■ يتعلّقُ الإدمانُ بعقارٍ، ويشتملُ على تغيّراتٍ وظيفيّةٍ في الخلايا العصبيّةِ.

■ الكحولُ عقاقيرُ مثبِّطةٌ تتسبَّبُ في الإدمانِ، وتؤثِّرُ كثيرًا في الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ. النيكوتين عقارٌ منبّهٌ يتسبَّبُ في الإدمانِ، ويوجدُ في منتجاتِ التبغِ.

مفرداتٌ

التحمُّلُ Tolerance (83)
الإدمانُ Addiction (83)
الاعتمادُ (التعوُّدُ) Dependence (83)
الانتفاخُ الرئويُّ Emphysema (86)
الانقطاعُ Withdrawal (83)
درجةُ تركيزِ الكحولِ في الدمِ Blood Alcohol Concentration (85)
العقارُ Drug (83)
العقارُ المثبِّطُ Depressent (85)
العقارُ المنبِّهُ Stimulant (84)
العقارُ المؤثِّرُ نفسيًّا Psychoactive drug (83)
النيكوتينُ Nicotine (86)

مراجعةٌ

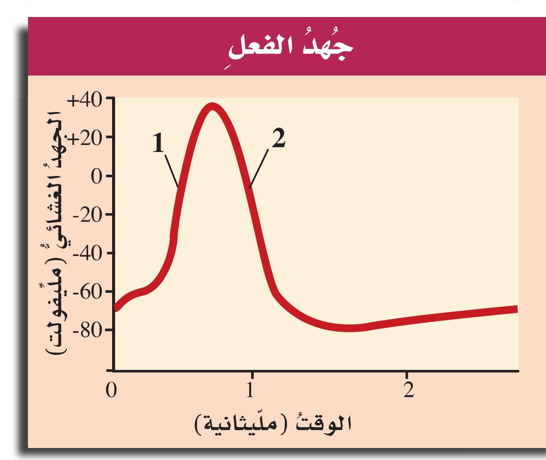
مفرداتٌ

1. وضِّحِ العلاقةَ القائمةَ بينَ معنيَيْ كلِّ زوجٍ من مفرداتِ المفاهيمِ التاليةِ:
   - أ. عقارٌ منبِّهٌ، وعقارٌ مثبِّطٌ
   - ب. الخليّةُ العصبيّةُ الحركيّةُ، والمستقبلُ الحسّيُّ
   - ج. جذعُ الدماغِ، والدماغُ البَيْنيُّ
   - د. جهدُ الراحةِ، وجهدُ الفعل
2. استخدمْ كلاًّ من المفرداتِ التاليةِ في جملةٍ مستقلّةٍ: خليّةٌ عصبيّةٌ، زائدةٌ شُجَيريّةٌ، غلافٌ مايلينيٌّ، تشابكٌ عصبيٌّ.
3. استخدمْ كلاًّ من المفرداتِ التاليةِ في جملةٍ مستقلّةٍ: المهادُ، تحتُ المهادِ، القنطرةُ، النخاعُ المستطيلُ.

اختيارٌ من مُتعدِّدٍ

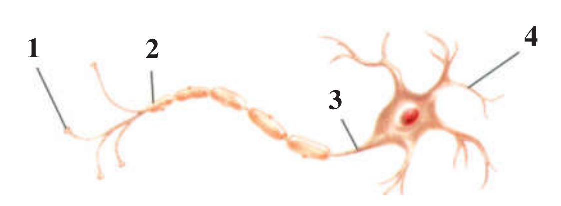
4. أيٌّ من التالي يصحُّ أن توصفَ بهِ قشرةُ المُخِّ؟
   - أ. موجودةٌ في عمقِ الدماغِ.
   - ب. هي الغلافُ الخارجيُّ، ذو التلافيفِ، للدماغِ.
   - ج. جزءٌ من الجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ.
   - د. ذاتُ فصوصٍ، وكثيفةُ التلافيفِ، وتقعُ خلفَ الدماغِ.
5. عندما تكونُ الخليّةُ العصبيّةُ في حالةِ الراحةِ، أيٌّ من التالي يكونُ صحيحًا؟
   - أ. تتّصفُ جهتا الخليّةِ بشحنةٍ كهربائيّةٍ متساويةٍ.
   - ب. تكونُ الجهةُ الداخليّةُ من الخليّةِ ذاتَ شحنةٍ موجبةٍ.
   - ج. تنعكسُ القطبيّةُ عبرَ الغشاءِ الخلويِّ.
   - د. تكونُ الجهةُ الخارجيّةُ من الخليّةِ ذاتَ شحنةٍ موجبةٍ.
6. أيٌّ من التالي ينبِّهُ المستقبلاتِ الآليَّةَ؟
   - أ. الحرارةُ. ج. الضغطُ.
   - ب. الضوءُ. د. الموادُّ الكيميائيّةُ.

يبيِّنُ الرسمُ البيانيُّ التالي التغيُّرَ في فرقِ الجهدِ أثناءَ جهدِ الفعلِ. استخدمْ هذا الرسمَ البيانيَّ، للإجابةِ عن السؤالين 7 و8.



7. كم من الوقتِ يدومُ جهدُ الفعلِ؟
   - أ. 1 ms. ج. 3 ms.
   - ب. 1.5 ms. د. 30 ms.
8. الرقمُ الذي يشيرُ إلى جزءِ المنحنى البيانيِّ الذي تنفتحُ خلالَهُ الأقنيةُ الأيونيّةُ للصوديوم هو
   - أ. 1. ج. 1 و 2.
   - ب. 2. د. لا يتوفَّرُ ما يكفي من المعلوماتِ لتحديدِ الجوابِ.
9. محفِّزٌ: نيكوتينٌ ؛ مثبطٌ:
   - أ. كحولٌ. ج. نواقلُ عصبيّةٌ.
   - ب. سجائرُ. د. تتراهيدروكانابينول (THC).

يظهرُ الرسمُ التخطيطيُّ خليّةً عصبيّةً. استخدمْ هذا الرسمَ التخطيطيَّ للإجابةِ عن السؤالين 10 و 11.



10. أيُّ الأرقامِ التاليةِ يشيرُ إلى التركيبِ الذي تستقبلُ منهُ الخليّةُ العصبيّةُ سيّالاتٍ من خليّةٍ عصبيّةٍ أخرى؟
أ. 1. **ج.** 3.
ب. 2. **د.** 4.

11. أيُّ الأرقامِ التاليةِ يشيرُ إلى التركيبِ الذي يزيدُ من سرعةِ انتقالِ جُهدِ الفعلِ؟
أ. 1. **ج.** 3.
ب. 2. **د.** 4.

إجابةٌ قصيرةٌ

12. صِفْ تركيبَ الخليّةِ العصبيّةِ.
13. صفِ الحالةَ الكيميائيّةَ، داخلَ الخليّةِ العصبيّةِ، خلالَ جهدِ الراحةِ وخلالَ جهدِ الفعلِ.
14. وضّحْ كيفيّةَ نقلِ جهدِ الفعلِ من خليّةٍ عصبيّةٍ إلى أخرى.
15. صفْ وظائفَ العضوَينِ الرئيسَين للجهازِ العصبيِّ المركزيِّ.
16. ما وظائفُ أجزاءِ الدماغِ الأربعةِ؟
17. لخّصْ وظائفَ القسمِ الحسّيِّ والقسمِ الحركيِّ للجهازِ العصبيِّ الطرفيِّ.
18. وضّحْ كيفَ يتمُّ الترابطُ بين الخلايا العصبيّةِ الحركيّةِ والخلايا العصبيّةِ البَيْنِيّةِ والمستقبلاتِ الحسّيّةِ.
19. ما دورُ المستقبلاتِ الكيميائيَّةِ في حاسّةِ التذوّقِ وحاسّةِ الشمِّ.
20. اذكرْ خمسةَ أنواعٍ مختلفةٍ من المستقبلاتِ الحسّيَّةِ في جسمِ الإنسانِ.
21. سمِّ أجزاءَ الأذنِ المسؤولةَ عن السمعِ والأجزاءَ المسؤولةَ عن التوازنِ.
22. قارنْ بينَ استجابةِ الخلايا العصبيَّةِ العصويّةِ واستجابةِ الخلايا العصبيَّةِ المخروطيَّةِ للضوءِ.
23. صفْ كيفَ تستقبلُ العينُ الضوءَ وكيفَ ترسلُ السيّالاتِ إلى الدماغِ.
24. ما نوعُ المستقبلاتِ التي تعملُ في التذوُّقِ وفي الشمِّ؟
25. وضّحْ دورَ الجلدِ في تحسُّسِ الملمسِ ودرجةِ الحرارةِ والألمِ.
26. ما الصلةُ بينَ الإدمانِ والتحمُّلِ؟
27. صفْ عمليَّةَ الإدمانِ لدى مُدمنِ الكوكايين.
28. سمِّ ستّةَ أنواعٍ من العقاقيرِ التي تؤثِّرُ نفسيًّا.
29. ما تأثيراتُ الكحولِ والتبغِ في الجسمِ؟
30. يختلفُ تأثيرُ عقارٍ في الجسمِ باختلافِ كمّيّةِ الجرعةِ وتحمُّلِ الشخصِ للعقارِ. وضّحْ الفرقَ بينَ الجرعةِ الفاعلةِ والجرعةِ القاتلةِ من العقارِ؟
31. استخدمْ مفرداتِ المفاهيمِ التاليةَ في وضعِ خريطةِ مفاهيمَ، لتصفَ تأثيرَ العقاقيرِ في الجهازِ العصبيِّ: عقاقيرُ موثِّرةٌ نفسيًّا، عقارٌ مثبِّطٌ، الكحولُ، عقارٌ منبِّهٌ، سوءُ الحكمِ على الأمورِ، اضطرابٌ وعدمُ وضوحٍ ذهنيٍّ، ارتفاعُ معدَّلِ نبضِ القلبِ، ارتفاعُ ضغطِ الدمِ، الإدمانُ، النيكوتينُ.

تفكيرٌ ناقدٌ

1. يصيبُ الصَّرعُ شخصًا واحدًا من كلِّ 200 شخص. فالخلايا العصبيّةُ للدماغِ تُنتجُ عادةً دفعاتٍ صغيرةً من جهدِ الفعلِ وبأنماطٍ متنوّعةٍ. وخلالَ نوبةِ الصرعِ، ترسلُ أعدادٌ كبيرةٌ من الخلايا العصبيّةِ في الدماغِ دفعاتٍ سريعةً ومتزامنةً من جهدِ الفعلِ. وقد يشهدُ جسمُ المصابِ بالصرعِ تصلُّبًا، أو تشنّجاتٍ متقطِّعةً. وبالاستنادِ إلى ما عرفتَهُ عن تحكُّمِ الدماغِ بالعضلاتِ وبوضعيَّةِ الجسمِ، كيفَ يمكنُكَ أن تفسِّرَ هذهِ الأعراضَ؟
2. ماذا تتوقَّعُ أن يحدثَ للجهازِ العصبيِّ لدى فردٍ يشكو من خللٍ في توازنِ الأيوناتِ في سوائلِ الجسمِ؟
3. إن الذينَ يشكونَ من الدَوخةِ يشعرونَ بالدوارِ، وباختلالِ التوازنِ في بعضِ الحالاتِ. ما الصلةُ بينَ الدوخةِ والقنواتِ الهلاليةِ؟

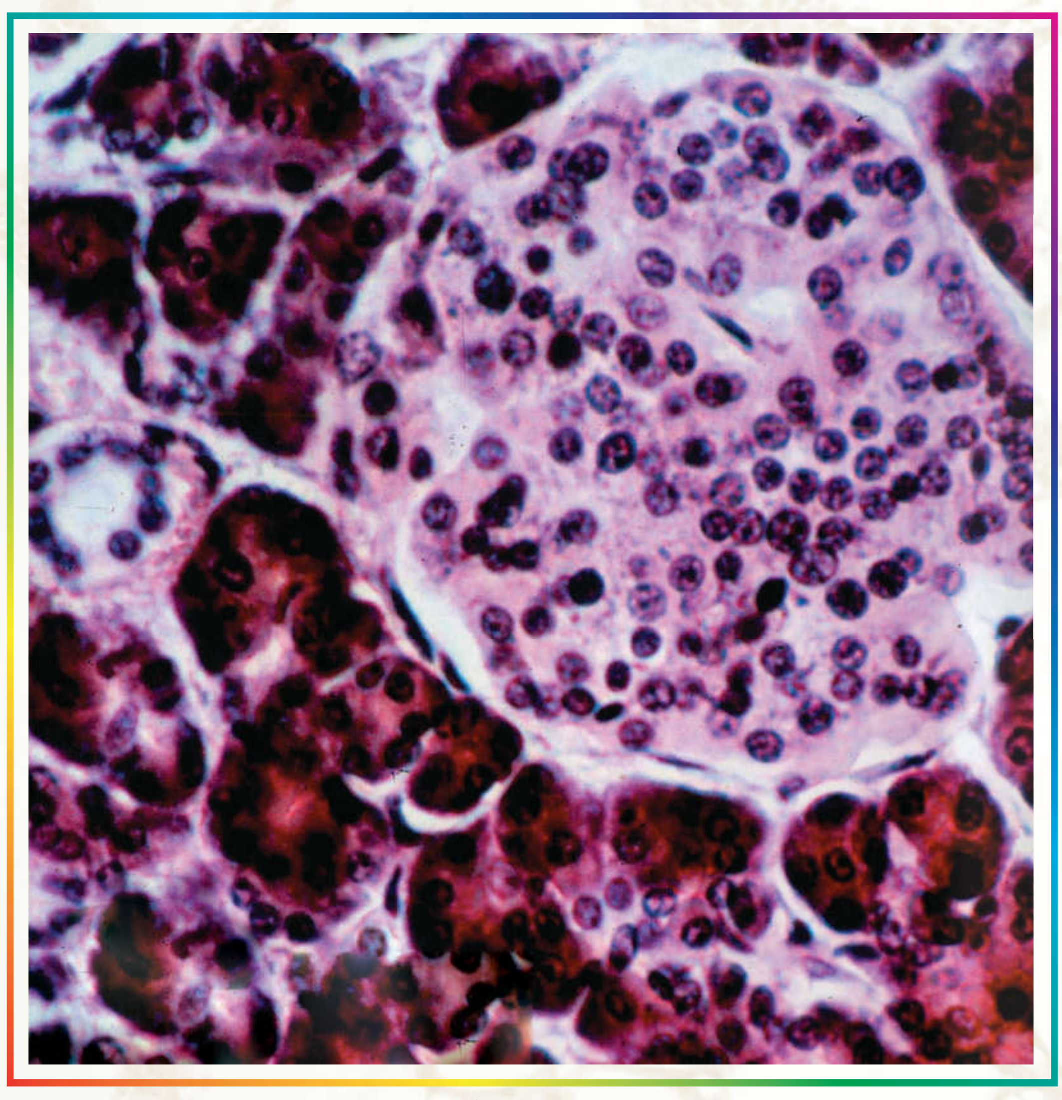
توسيعُ آفاقِ التفكيرِ

الكحولُ والتبغُ قد يؤثرانِ سلبًا على صحّةِ الإنسانِ.

1. بالعودةِ إلى المراجعِ المكتبيَّةِ والإنترنت، اكتبْ تقريرًا حولَ ما قد يحدثُ إذا توقَّفَ مدمنٌ على الكحولِ عن الشربِ؟
2. يدخِّنُ شخصٌ علبةَ سجائرَ في اليومِ. ابحثْ في المراجعِ عن بعضِ المخاطرِ الصحيَّةِ التي سيواجهُها هذا الشخصُ إذا واصلَ التدخينَ فترةً طويلةً.

الفصل 5

جهازُ الغددِ الصمّاءِ



تعملُ الهرموناتُ على تنشيطِ خلايا الجسمِ. إن جزرَ لانجرهانس هي تجمُّعاتٌ من خلايا في البنكرياسِ تصنعُ هرمونينِ (الأنسولين والكلوكاكون) ينظِّمانِ تركيزَ الكلوكوزِ في الدمِ.

1-5 الهرموناتُ

2-5 الغددُ الصمّاءُ

المفهومُ الرئيسُ: الثباتُ والاتِّزانُ الداخليُّ

وأنت تقرأُ تنبَّهْ إلى الطرقِ التي يساعدُ فيها جهازُ الغددِ الصمّاءِ الجسمَ على تحقيقِ الثباتِ والاتِّزانِ الداخليِّ.

الهرموناتُ

الهرموناتُ والنواقلُ العصبيّةُ رسلٌ كيميائيّةٌ تنظّمُ أنشطةَ الجسمِ. غيرَ أنَّ الهرموناتِ جزءٌ من جهازِ الغددِ الصمّاءِ. بينما النواقلُ العصبيّةُ جزءٌ من الجهازِ العصبيِّ. تعملُ الهرموناتُ غالبًا بصورةٍ أبطأَ وبتأثيرٍ أطولَ من النواقلِ العصبيّةِ.

القسم 1-5

النواتج التعليمية

▲ يحدِّدُ الوظائفَ الرئيسةَ للهرموناتِ.

● يميِّزُ بينَ الغددِ الصمّاءِ والغددِ القنويَّةِ.

■ يقارنُ بينَ تركيبِ الهرموناتِ الببتيديَّةِ وتركيبِ الهرموناتِ الستيرويديّةِ.

◆ يقارنُ بينَ آليَّةِ عملِ الهرموناتِ الببتيديَّةِ وآليَّةِ عملِ الهرموناتِ الستيرويديَّةِ والدرقيَّةِ في الخلايا الهدفِ.

▲ يوضحُ أن عملَ الببتيداتِ العصبيَّةِ والبروستاكلاندينات يشابهُ عملَ الهرموناتِ.

الوظيفةُ والإفرازُ

تؤثِّرُ الهرموناتُ في كلِّ خليّةٍ وفي كلِّ عضوٍ من أجسامِنا تقريبًا. **والهرموناتُ Hormones** موادُّ تُفرزُها خلايا متخصِّصةٌ تعملُ على تنظيمِ نشاطِ خلايا أخرى في الجسمِ. فهي ذاتُ وظائفَ متعدِّدة. إنها تنظِّمُ النموَّ والتطوُّرَ والسلوكَ والتكاثرَ، وتحافظُ على الاتِّزانِ الداخليِّ، وتنظِّمُ الأيضَ وتوازنَ الماءِ والأملاحِ في الجسمِ، كما تستجيبُ للمؤثِّراتِ الخارجيَّةِ.

تتكوَّنُ الهرموناتُ في الغددِ الصمّاءِ وتُفرَزُ منها. **الغددُ الصمّاءُ Endocrine glands** غددٌ لاقنويَّةٌ، وهي تُفرزُ الهرموناتِ إمّا في الدمِ أو في السائلِ المحيطِ بالخلايا. يوجدُ في الدماغِ والمعدةِ والأمعاءِ الدقيقةِ والكبدِ والقلبِ وأعضاءٍ أخرى خلايا متخصِّصةٌ تنتجُ الهرموناتِ وتحرِّرُها. إن الغددَ الصمّاءَ والخلايا المتخصِّصةَ التي تُفرزُ الهرموناتِ، تسمّى جميعُها **جهازَ الغددِ الصمّاءِ Endocrine system**.

ويوجدُ في الجسمِ أيضًا غددٌ قنويَّةٌ. هذه **الغددُ القنويَّةُ Exocrine glands** تُفرزُ موادَّ عبرَ قنواتٍ (أي تراكيبَ على شكلِ أنابيبَ). ويمكنُ لهذه الموادِّ أن تشتملَ على الماءِ والأنزيماتِ والمخاطِ. فتتولّى القنواتُ نقلَها إلى مواقعَ معيَّنةٍ داخلَ الجسمِ وخارجَهُ. الغددُ العَرَقيَّةُ والغددُ المخاطيَّةُ والغددُ اللُّعابيَّةُ والغددُ الهضميَّةُ الأخرى، هي أمثلةٌ على الغددِ القنويَّةِ. وهناك غددٌ كالبنكرياسِ صمّاءُ وقنويَّةٌ في آنٍ.

أنواعُ الهرموناتِ

يمكنُ أن تقسَّمَ الهرموناتُ باعتبارِ تركيبِها إلى نوعينِ هما: الهرموناتُ الببتيديَّةُ والهرموناتُ الستيرويديّة. **الهرموناتُ الببتيديَّةُ Peptide hormones** هي هرموناتٌ مكوَّنةٌ إمّا من حمضٍ أمينيّ واحد مُحوَّر، أو من ببتيدٍ مكوَّنٍ من 3 إلى 200 حمضٍ أمينيٍّ، ومعظمُ الهرموناتِ الببتيديَّةِ قابلةٌ للذوبانِ في الماءِ، أمّا **الهرموناتُ الستيرويديَّةُ Steroid hormones** فهرموناتٌ دهنيَّةٌ ينتجُها الجسمُ من الكوليسترولِ، وهي قابلةٌ للذوبانِ في الدهونِ.

عملُ الهرمونِ

ينتجُ الجسمُ عددًا كبيرًا من الهرموناتِ المختلفةِ. ويؤثِّرُ كلُّ هرمونٍ في خلايا هدفٍ خاصةٍ بهِ وحدَهُ. **الخلايا الهدفُ Target cells** هي خلايا معيَّنةٌ ينتقلُ إليها الهرمونُ لإحداثِ تأثيرٍ معيَّنٍ. لدى الخلايا الهدفِ **مستقبلاتٌ Receptors** هي بروتيناتٌ ترتبطُ بها جزيئاتٌ منبِّهةٌ معيَّنةٌ تحثُّ الخليَّةَ على الاستجابةِ. يرتبطُ كلُّ مستقبلٍ بهرمونٍ معيَّنٍ فتنشأُ عن هذا الارتباطِ أحداثٌ تؤدِّي إلى تغيُّراتٍ ضمنَ الخليَّةِ، ويمكنُ أن توجدَ المستقبلاتُ على غشاءِ الخليَّةِ أو في السيتوبلازم أو في نواتِها.

الهرموناتُ الببتيديَّةُ

ترتبطُ أكثرُ الهرموناتِ الببتيديَّةِ بمستقبلٍ بروتينيٍّ على غشاءِ الخليَّةِ. وهكذا يعملُ الهرمونُ كرسولٍ أوَّلٍ. وكما يظهرُ في الشكلِ 5-1، ينشِّطُ مركَّبُ الهرمونِ–المستقبلِ الناتجُ أنزيمًا يحوِّلُ ATP إلى AMP (أدينوسينٌ أحاديُّ الفوسفاتِ Adenosine monophosphate) الحلقيِّ الذي ينشِّطُ بدورِهِ أنزيماتٍ وبروتيناتٍ أخرى داخلَ الخليَّةِ. وهكذا يكونُ AMP الحلقيُّ، بعد الهرمونِ، قد عملَ كرسولٍ ثانٍ. **الرسولُ الثاني Second messenger** هو الجزيءُ الذي يسبِّبُ بدءَ التغيُّراتِ داخلَ الخليَّةِ استجابةً لارتباطِ مادَّةٍ معيَّنةٍ بمستقبلٍ محدَّدٍ على سطحِ الخليَّةِ. تشتملُ الخلايا، بالإضافةِ إلى AMP الحلقيِّ، على رسلٍ ثانيةٍ أخرى.

الهرموناتُ الستيرويديَّةُ والدرقيَّةُ

بما أنَّ الهرموناتِ الستيرويديَّةَ والدرقيَّةَ قابلةٌ للذوبانِ في الدهونِ، فإنها تنتشرُ عبرَ أغشيةِ الخلايا الهدفِ، وترتبطُ بالمستقبلاتِ في السيتوبلازمِ أو النواةِ. تسبِّبُ مركباتُ الهرمونِ–المستقبلِ تنشيطَ أنزيماتٍ موجودةٍ، أو بناءَ أنزيماتٍ أو بروتيناتٍ جديدةٍ. يُظهِرُ الشكلُ 5-2 كيفَ يرتبطُ مركَّبُ الهرمونِ – المستقبلِ بـ DNA وينشِّطُ نسخَ الشيفرةِ الوراثيَّةِ لبناءِ mRNA وينبِّهُ إنتاجَ بروتيناتٍ جديدةٍ تسبِّبُ بدورِها تغيُّراتٍ في الخليَّةِ الهدفِ.



نشاطٌ عمليٌّ سريعٌ

قابليَّةُ الذوبانِ

الموادُّ كأسٌ سعتُها 100 mL (عدد 4)، ماءٌ، جيلاتينٌ، زيتٌ للطبخِ، كبسولةُ فيتامينِ E، إبرةٌ للتشريحِ، ملعقةٌ.

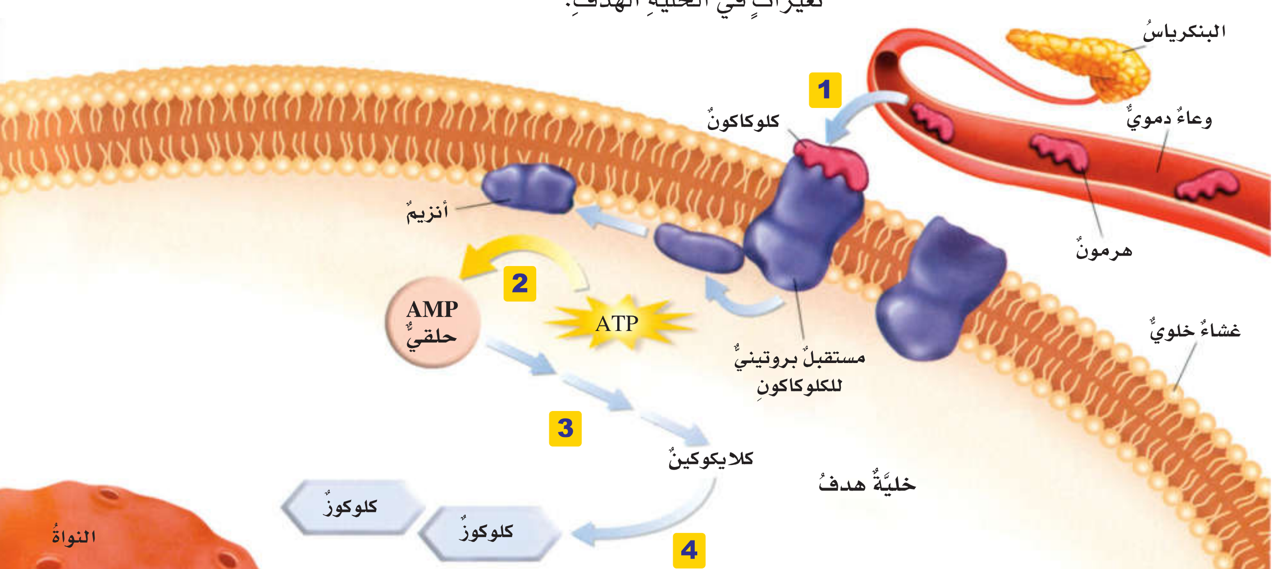
الإجراءُ

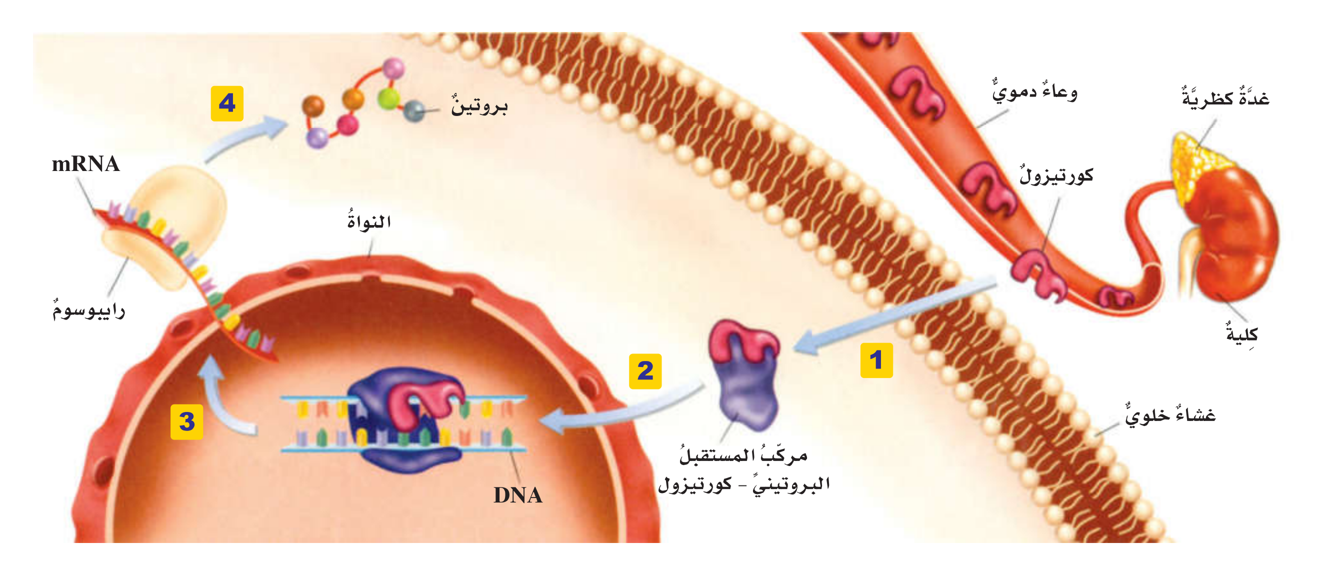
1. اسكبْ 75 mL من الماءِ في الكأسِ. أضفْ إليها 2.5 g من الجيلاتينِ (بروتين) وحرِّكِ الكأسَ. هل ذابَ الجلي؟
2. اسكبْ 75 mL من الزيتِ في الكأسِ. كرِّرِ الخطوةَ 1 مستعملاً الزيتَ بدلاً من الماءِ.
3. كرِّرِ الخطوتينِ 1 و 2 مستعملاً كبسولةَ الفيتامينِ (دهن) بدلاً من الجلي.

التحليلُ أيُّ مادَّةٍ هي قابلةٌ للذوبانِ في الدهنِ؟ أيُّ مادَّةٍ هي قابلةٌ للذوبانِ في الماءِ؟ اربطْ بينَ قابليَّةِ الهرموناتِ للذوبانِ وبين دخولِها الخلايا الهدفَ أو بقائِها خارجَها؟

الشكلُ 5-1

1 الهرموناتُ الببتيديَّةُ، كالكلوكاكونِ، ترتبطُ بالمستقبلِ البروتينيِّ على غشاءِ الخليَّةِ. **2** ينشِّطُ هذا الارتباطُ الأنزيمَ الذي يحوِّلُ ATP إلى AMP حلقيٍّ. **3** يبدأُ AMP الحلقيُّ سلسلةً من تفاعلاتٍ أنزيميَّةٍ. **4** في النهايةِ، يتفكَّكُ الكلايكوكينُ إلى جزيئاتٍ من الكلوكوزِ.





الشكل 5-2
1 الهرموناتُ الستيرويديَّةُ، كالكورتيزول، تنتشرُ عبرَ غشاءِ الخليَّةِ وترتبطُ بالمستقبلاتِ في سيتوبلازمِ الخليَّةِ. 2 مركَّبُ الهرمونِ-المستقبل يدخلُ النواةَ ويرتبطُ بـ DNA.
3 تتنشَّطُ الجيناتُ. 4 يتمُّ بناءُ البروتيناتِ التي تصبحُ ناشطةً في الخلايا.

أنواعٌ أخرى من الهرموناتِ

حاليًّا يصنَّفُ العديدُ من الرسلِ الكيميائيَّةِ الأخرى كهرموناتٍ. ومن بين هذهِ الرسلِ الكيميائيَّةِ الببتيداتُ العصبيَّةُ والبروستاكلاندينات.

الببتيداتُ العصبيَّةُ Neuropeptides هرموناتٌ يُفرزُها الجهازُ العصبيُّ وهي تختلفُ عن النواقلِ العصبيَّةِ، وتؤثِّرُ في العديدِ من الخلايا العصبيَّةِ التي تحرِّرُها. يوجدُ مجموعةٌ من الببتيداتِ العصبيَّةِ تسمّى *الإندورفيناتِ Endorphins* ووظيفتُها تنظيمُ العواطفِ والتأثيرُ في الألمِ والتكاثرِ. وهناكَ مجموعةٌ أخرى من الببتيداتِ العصبيَّةِ تسمّى *الإنكيفالينات Enkephalins* ووظيفتُها تثبيطُ انتقالِ سيّالاتِ الألمِ نحوَ الدماغِ.

البروستاكلاندينات Prostaglandins أحماضٌ دهنيَّةٌ محوَّرةٌ تُفرزُها معظمُ الخلايا. تتجمعُ البروستاكلانديناتُ حيثُ يوجدُ أنسجةٌ مصابةٌ بتلفٍ. بعضُ البروستاكلاندينات يسبِّبُ انبساطَ العضلاتِ الملساءِ، بينما يسبِّبُ بعضُها الآخرُ انقباضَها. وتسبِّبُ البروستاكلانديناتُ الحمّى التي يخفِّفُ من شدَّتِها ومن آلامِها الأسبيرينُ والأسيتامينوفينُ عبرَ تثبيطِ بناءِ البروستاكلاندين.

مراجعةُ القسمِ 5-1

1. سمِّ أربعَ وظائفَ للهرموناتِ.
2. ما وجهُ الاختلافِ بينَ الغددِ القنويَّةِ والغددِ الصمّاءِ؟
3. وضِّحْ كيفَ تؤثِّرُ الهرموناتُ الببتيديَّةُ في خلاياها الهدفِ.
4. وضِّحْ كيفَ تؤثِّرُ الهرموناتُ الستيرويديَّةُ في الخلايا الهدفِ.
5. لماذا تُصنَّفُ الببتيداتُ العصبيَّةُ والبروستاكلاندينات حاليًّا كهرموناتٍ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

6. لماذا تستطيعُ الهرموناتُ الستيرويديَّةُ والدرقيَّةُ اجتيازَ الأغشيةِ الخلويَّةِ، بينما لا تستطيعُ الهرموناتُ الببتيديَّةُ ذلكَ؟
7. لماذا تُعدُّ الهرموناتُ والنواقلُ العصبيَّةُ رسلاً كيميائيَّةً؟

القســـــم

2-5

النواتج التعليمية

▲ يوضِّحُ العلاقةَ بينَ تحتِ المهادِ والغدَّةِ النخاميَّةِ من حيثُ إفرازُ الهرمونات.

● يضعُ قائمةً بالوظائفِ الرئيسةِ للغددِ الصمّاءِ والهرموناتِ.

■ يفسِّرُ دورَ آليّاتِ التغذيةِ الراجعةِ في الحفاظِ على الاتزانِ الداخليِّ.

◆ يقارنُ بينَ آليّاتِ عمل كلٍّ من التغذيةِ الراجعةِ السلبيَّةِ والتغذيةِ الراجعةِ الإيجابيَّةِ في تنظيمِ تركيزِ الهرمونات.

▲ يلخِّصُ كيفَ تعملُ الهرموناتُ المتضادَّةُ كأزواجٍ للحفاظِ على الاتزانِ الداخليِّ.

الغددُ الصمّاءُ

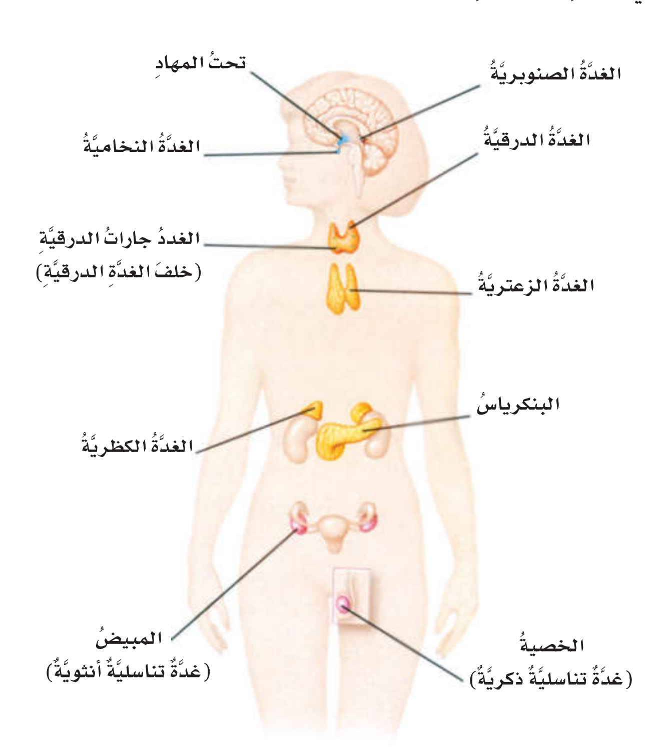
تنظِّمُ الغددُ الصمّاءُ عمليّاتٍ حيويَّةً كثيرةً. وهذا القسمُ يناقشُ الهرموناتِ الرئيسةَ التي تنتجُها الغددُ الصمّاءُ وتأثيراتِ هذهِ الهرموناتِ.

تحتُ المهادِ والغدَّةُ النخاميَّةُ

تتوزَّعُ الغددُ الصمّاءُ في مختلفِ أنحاءِ الجسمِ، كما يظهرُ في الشكلِ 5-3. يتحكَّمُ كلٌّ من تحتِ المهادِ والغدَّةِ النخاميَّةِ في إفرازِ العديدِ من الهرموناتِ.

تحتُ المهادِ Hypothalamus هو المنطقةُ الدماغيَّةُ التي تنظِّمُ العديدَ من أنشطةِ الجهازِ العصبيِّ وجهازِ الغددِ الصمّاءِ. هذه المنطقةُ تتلقّى سيّالاتٍ من مناطقِ الدماغِ الأخرى، وتستجيبُ لها، كما تستجيبُ لتركيزاتِ الهرموناتِ في الدمِ. ويستجيبُ تحتُ المهادِ بإصدارِ مؤثّراتٍ هرمونيَّةٍ إلى الغدَّةِ النخاميَّةِ، إذ تتَّصلُ **الغدَّةُ النخاميَّةُ Pituitary gland**، كما يظهرُ في الشكلِ 5-4، بتحتِ المهادِ عبرَ سويقةٍ قصيرةٍ. فينتجُ تحتُ المهادِ الهرموناتِ التي تخزَّنُ في الغدَّةِ النخاميَّةِ والهرموناتِ التي تنظِّمُ نشاطَها.

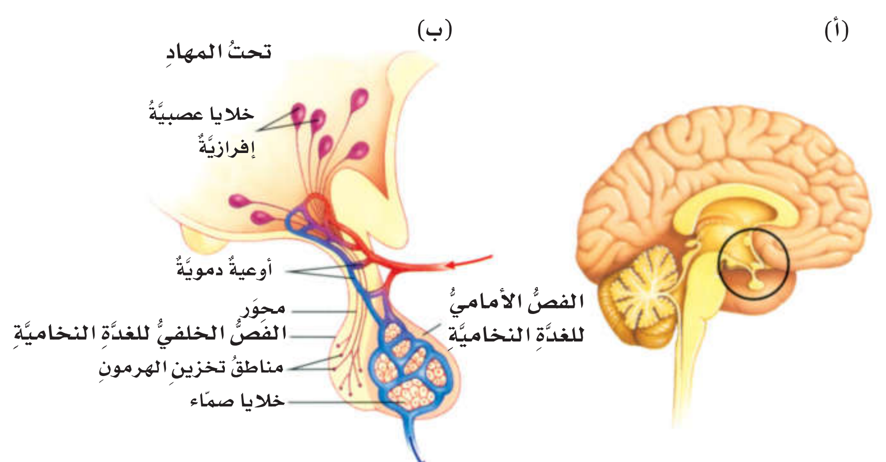
تنتجُ خلايا عصبيَّةٌ من تحتِ المهادِ هرمونينِ هما *الأكسيتوسينُ Oxytocin* و*الهرمونُ المضادُّ للتبوُّلِ (ADH) Antidiuretic hormone*. وهذه الخلايا العصبيَّةُ التي تُفرزُ الهرموناتِ تسمّى *الخلايا العصبيَّةَ الإفرازيَّةَ Neurosecretory cells*. تمتدُّ محاورُ هذه الخلايا من تحتِ المهادِ إلى الفصِّ الخلفيِّ للغدَّةِ النخاميَّةِ، الشكل 5-4 ب.



الشكل 5-3
تتوزَّعُ الغددُ الصمّاءُ في مختلفِ أنحاءِ الجسمِ. وهذه الغددُ جميعُها تحتوي على خلايا تُفرزُ الهرموناتِ. يوجدُ، عدا الأعضاءِ الظاهرةِ في هذا الشكلِ، أعضاءٌ أُخَرُ تُفرزُ الهرموناتِ.

يـنتقلُ الأكسيتوسينُ والهرمونُ المضادُّ للـتـبـوُّلِ مـن هـذهِ الـمـحـاورِ إلـى الـفـصِّ الـخلفيِّ للغـدَّةِ النـخـاميَّةِ، حيثُ يُخزَنانِ حتى يتمَّ تحريرُهما في النهايةِ داخلَ مجرى الدم.

يتَّصلُ تحتُ المهادِ بالفصِّ الأماميِّ للغدَّةِ النخاميَّةِ، كما يظهرُ في الشكل 5-4 ب، بواسطةِ شبكةٍ من الأوعيةِ الدمويَّةِ. تُفرزُ الخلايا العصبيَّةُ في تحتِ المهادِ هـرمـوناتِ الإطـلاقِ وهـرمـوناتٍ مثبِّطـةً للإطلاقِ، وتنتقلُ هذه الهرموناتُ إلى الـفـصِّ الأمـامـيِّ لـلـغـدَّةِ الـنـخـاميَّـةِ عبـرَ الأوعيـةِ الـدمـويَّةِ. تنبِّهُ *هـرمـونـاتُ الإطلاقِ Releasing hormones* الفصَّ الأماميَّ للغدَّةِ النخاميَّةِ لصنعِ الهرموناتِ وتحريرِها. وتمنعُ *الهرموناتُ المثبِّطةُ للإطلاقِ Release-inhibiting hormones* إنتاجَ وتحريرَ هرموناتِ الفصِّ الأماميِّ للغدَّةِ النخاميَّةِ.



الشكل 5-4
تنتجُ الخلايا العصبيَّةُ الإفرازيَّةُ الموجودةُ في تحتِ المهادِ هرموناتٍ تؤثِّرُ في الغدةِ النخاميَّةِ. يشارُ إلى منطقةِ الدماغِ حيثُ تحتُ المهادِ والغدَّةُ النخاميةُ بإحاطتِها بدائرة (5-4 أ). ينظِّمُ تحتُ المهادِ عملَ الفصِّ الخلفيِّ للغدَّةِ النخاميَّةِ بواسطةِ محاورِ خلايا عصبيَّةٍ، وينظِّمُ عملَ الفصِّ الأماميِّ للغدَّةِ النخاميةِ بواسطةِ أوعيةٍ دمويَّةٍ (5-4 ب). تمَّ حذفُ الأوعيةِ الدمويَّةِ من صورةِ الفصِّ الخلفيِّ للغدَّةِ النخاميَّةِ كي تظهرَ امتداداتُ المحاورِ.

بعضُ هرموناتِ الفصِّ الأماميِّ للغدَّةِ النخاميَّةِ، كهرمونِ النموِّ والبرولاكتين، تنظَّمُ بواسطةِ هرمونِ إطلاقٍ وهرمونٍ مثبِّطٍ للإطلاقِ. وبعضٌ آخرُ من الهرموناتِ التي تنظِّمُها هرموناتُ الإطلاقِ، كالهرمونِ المنبِّهِ للحوصلةِ والهرمونِ المنبِّهِ للغدَّةِ الدرقيَّةِ والهرمونِ المنشِّطِ لقشرةِ الغدَّةِ الكظريَّةِ، تنبِّهُ بدورِها غددًا صمّاءَ أخرى. يلخِّصُ الجدولُ 5-1 وظائفَ الهرموناتِ التي تُفرِزُها الغدَّةُ النخاميَّةُ.

الجدولُ 5-1 الهرموناتُ التي تُفرِزُها الغدَّةُ النخاميّةُ

الهرمونُ	الهدفُ	الوظيفةُ الرئيسةُ
الهرمونُ المنبِّهُ للقشرةِ الكظريَّةِ	القشرةُ الكظريَّةُ	ينبِّهُ القشرةَ الكظريَّةَ لإفرازِ الكورتيزولِ والألدوسترون
الهرمونُ المضادُّ للتبوُّلِ	أنيبيباتُ الكليةِ	ينبِّهُ إعادةَ امتصاصِ الماءِ في الكلى، مخفِّضًا تركيزَ المذاباتِ في الدم
الهرمونُ المنبِّهُ للحوصلةِ	مبايضُ الإناثِ وخُصى الذكورِ	ينبِّهُ إنتاجَ البويضاتِ عند الإناثِ، وإنتاجَ الحيواناتِ المنويَّةِ عندَ الذكورِ
هرمونُ النموِّ	العضلاتُ والعظامُ	ينظِّمُ نموَّ العضلاتِ والعظامِ وتطوُّرَها
الهرمونُ المنبِّهُ للجسمِ الأصفرِ	مبايضُ الإناثِ وخُصى الذكورِ	ينبِّهُ إنتاجَ البروجسترونِ والإستروجين، يسبِّبُ بدءَ الإباضةِ عندَ الإناثِ، ينبِّهُ إنتاجَ التستسترونِ عندَ الذكورِ
الأكسيتوسينُ	عضلاتُ الرَّحمِ والغددُ الثدييَّةُ	يسبِّبُ بدءَ انقباضِ عضلاتِ الرَّحمِ أثناءَ الولادةِ، ينبِّهُ تدفُّقَ الحليبِ من الثدي أثناءَ الإرضاعِ
البرولاكتينُ	الغددُ الثدييَّةُ	ينبِّهُ إنتاجَ الحليبِ في الثَّديين أثناءَ الإرضاعِ
الهرمونُ المنبِّهُ للغدَّةِ الدرقيَّةِ	الغدَّةُ الدرقيَّةُ	ينظِّمُ إفرازَ الهرموناتِ الدرقيَّةِ، الثايروكسين والثايرونين الثلاثيَّ اليودِ

الغدَّةُ الدرقيَّةُ

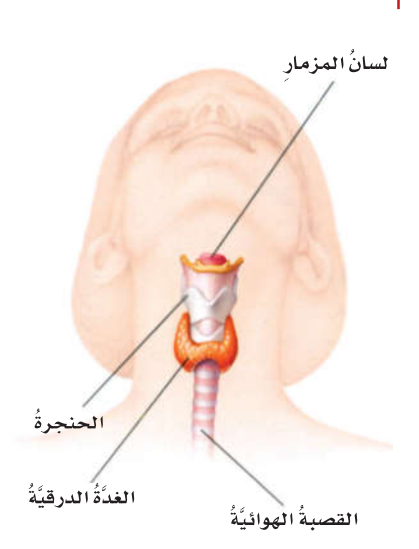
يقعُ فصّا **الغدَّةِ الدرقيَّةِ Thyroid gland** عندَ أسفلِ الحنجرةِ، الشكلُ 5-5. الغدَّةُ الدرقيَّةُ تُنتِجُ وتُفرزُ هرمونَي الثايروكسينِ والثايرونينِ ثلاثيِّي اليودِ. يشتقُّ هذانِ الهرمونانِ من الحمضِ الأمينيِّ نفسِهِ ويُبنيان بالاتِّحادِ معَ ذرّاتِ اليودِ. ينظِّمُ *الهرمونُ المنبِّهُ للغدَّةِ الدرقيَّةِ Thyroid stimulating hormone (TSH)* إفرازَ هرموناتِ الغدَّةِ الدرقيَّةِ.

تساعدُ هرموناتُ الغدَّةِ الدرقيَّةِ على بقاءِ معدَّلِ نبضِ القلبِ وضغطِ الدّمِ ودرجةِ حرارةِ الجسمِ في مستوياتِها الطبيعيَّةِ. فهي تُنبِّهُ الأنزيماتِ التي ترتبطُ بأكسدةِ الجلوكوزِ واستهلاكِ الأكسجينِ، وهي أنزيماتٌ ينتجُ عنها زيادةُ الحرارةِ وتزايدُ معدَّلاتِ الأيضِ الخلويَّةِ، وهي تؤكِّدُ استخدامَ الكربوهيدراتِ بدلاً من الدهونِ للحصولِ على الطاقةِ.

إن الغدَّةَ الدرقيَّةَ مهمّةٌ بالنسبةِ لنموِّ الإنسانِ، لأن هرموناتِها تساعدُ على نموِّ العديدِ من أجهزةِ الجسمِ. وهي أيضًا تنتجُ *الكالسيتونينَ Calcitonin*، الهرمونَ الذي ينبِّهُ نقلَ أيوناتِ الكالسيومِ من الدمِ إلى العظمِ، حيثُ يمكنُ أن تستعمَلَ أيوناتُ الكالسيوم لإنتاجِ نسيجٍ عظميٍّ. يعملُ الكالسيتونينُ على تخفيضِ تركيزِ مستوياتِ الكالسيومِ في الدمِ.

والخللُ الذي يصيبُ نشاطَ الغدَّةِ الدرقيَّةِ يمكنُ أن يكونَ ضارًّا بأيضِ الجسمِ. فالإفراطُ في إنتاجِ الهرموناتِ الدرقيَّةِ يؤدّي إلى زيادةٍ كبيرةٍ في النشاطِ الأيضيِّ وإلى نقصٍ في الوزنِ وارتفاعٍ في ضغطِ الدمِ ومعدَّلِ نبضِ القلبِ ودرجةِ حرارةِ الجسمِ. يعالَجُ الإفراطُ في إنتاجِ هذهِ الهرموناتِ بالدّواءِ أو بالجراحةِ بإزالةِ جزءٍ من الغدَّةِ الدرقيَّةِ.
أما النقصُ في إنتاجِ الهرموناتِ الدرقيَّةِ فيؤدّي إلى تأخُّرٍ في النموِّ، وخمولٍ، وزيادةٍ في الوزنِ، وانخفاضٍ في معدّلِ نبضِ القلبِ ودرجةِ حرارةِ الجسمِ. فإذا حصلَ النقصُ في هرموناتِ الغدَّةِ الدرقيَّةِ أثناءَ تطوُّرِ الجنينِ، يمكنُ أن تحدثَ حالةُ *الكثمِ Cretinism*، وهو شكلٌ من الإعاقةِ العقليَّةِ. أمّا إذا كانَ نقصُ اليودِ هو سببَ نقصِ الهورموناتِ هذه، فالغدَّةُ الدرقيَّةُ تنتفخُ ويحدثُ تضخُّمٌ في *الغدَّةِ Goiter*. ويعالَجُ النقصُ في هرموناتِ الغدَّةِ الدرقيَّةِ بإعطاءِ هرمونِ الثايروكسينِ للمريضِ.

الشكل 5-5
تقعُ الغدَّةُ الدرقيَّةُ تحتَ الحنجرةِ وفوقَ القصبةِ الهوائيَّةِ.



الغدّتانِ الكظريّتانِ

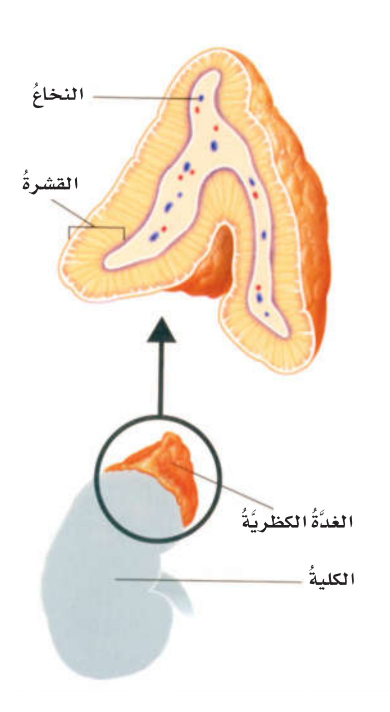
تقعُ فوقَ كلِّ كليةٍ **غدّةٌ كظريَّةٌ Adrenal gland**، الشكلُ 5-6. ولكلِّ غدةٍ كظريَّةٍ لبٌّ داخليٌّ هو **اللب Medulla**، وطبقةٌ خارجيَّةٌ هي **القشرةُ Cortex**. يعملُ كلٌّ من هذا النخاعِ وهذه القشرةِ كغدَّةٍ صمّاءَ مستقّلةٍ. يتحكَّمُ الجهازُ العصبيُّ في إفرازِ هرموناتِ النخاعِ، بينما تنظِّمُ هرموناتٌ في الفصِّ الأماميِّ من الغدَّةِ النخاميَّةِ إفرازَ هرموناتِ القشرةِ.

النخاعُ الكظريُّ

ينتجُ اللبُّ الكظريُّ هرمونَيْنِ مشتقَّيْنِ من الأحماضِ الأمينيَّةِ: **الإيبينفرين Epinephrine** و**النورإيبينفرينَ Norepinephrine** اللّذَيْنِ يُعرفانِ كذلكَ، على التوالي، بالأدرنالين والنورأدرنالين. ينظِّمُ هذانِ الهرمونانِ ردَّ فعلِ الجهازِ العصبيِّ على الإجهادِ والخطرِ وهو الردُّ الذي يعرفُ باسمِ «الكرِّ أوِ الفرِّ *Fight or flight*». عندما يكونُ الشخصُ مُجهَدًا يُفرزُ النخاعُ الإيبينفرينَ والنورإيبينفرينَ في الدمِ. وهذانِ الهرمونانِ يزيدانِ من سرعةِ معدّلِ نبضِ القلبِ ويرفعانِ من ضغطِ الدمِ وتركيزِ الكلوكوزِ في الدمِ وتدفُّقِ الدمِ إلى القلبِ والرئتينِ. ينبِّهُ الإيبينفرينُ والنورإيبينفرينُ اتساعَ الشُّعَيْباتِ الهوائيَّةِ وحدَقَتي العينينِ.

القشرةُ الكظريَّةُ

تستجيبُ القشرةُ الكظريَّةُ *للهرمونِ المنبِّهِ للقشرةِ الكظريَّةِ Adrenocorticotropic hormone (ACTH)* الذي يُفرزُهُ الفصُّ الأماميُّ للغدَّةِ النخاميَّةِ. يسبِّبُ الإجهادُ تحفيزَ تحتِ المهادِ على إفرازِ هرمونِ إطلاقِ ACTH، الذي ينبِّهُ الفصَّ الأماميَّ للغدَّةِ النخاميَّةِ فتُفرزُ الهرمونَ ACTH. ثم ينبِّهُ الهرمونُ ACTH القشرةَ الكظريَّةَ لإنتاجِ الهرمونَيْنِ الستيرويديَّيْنِ: الكورتيزول والألدوسترون. يعملُ **الكورتيزول Cortisol** على إنتاجِ الكلوكوزِ من البروتيناتِ فيوفِّرُ للخلايا طاقةً قابلةً للاستعمالِ. و**الألدوسترونُ Aldosterone** يساعدُ على رفعِ ضغطِ الدمِ وحجمِهِ، باحتفاظِ الكلى بالأملاحِ والماءِ.



الشكل 5-6
تركيبُ الغدّةِ الكظريَّةِ.

الغددُ التناسليَّةُ

الغددُ التناسليَّةُ Gonads، هي المبايضُ لدى الإناثِ والخُصَى لدى الذكورِ، وهي أعضاءٌ تُنتجُ الأمشاجَ ومجموعةَ هرموناتٍ جنسيَّةٍ ستيرويديَّةٍ. تنظِّمُ هرموناتُ الجنسِ تغيُّراتِ الجسمِ التي تبدأُ في سنِّ البلوغِ. و**سنُّ البلوغِ Puberty** هو مرحلةُ المراهقةِ التي تنضَجُ خلالَها الأعضاءُ التناسليَّةُ وتظهرُ الصفاتُ الجنسيَّةُ الثانويَّةُ. فأثناءَ سنِّ البلوغِ عندَ الذكورِ يبدأُ إنتاجُ الحيواناتِ المنويَّةِ، ويخشنُ الصوتُ ويتَّسِعُ الصدرُ، وينمو الشعرُ على الجسمِ والوجهِ. أما عندَ الإناثِ فتبدأُ دورةُ الحيضِ، وينمو الثديانِ، ويتَّسِعُ الحوضُ.

يُفرزُ الفَصُّ الأماميُّ للغدَّةِ النخاميَّةِ **الهرمونَ المنبِّهَ للجسمِ الأصفرِ Luteinizing hormone (LH)** و**الهرمونَ المنبِّهَ للحوصلةِ (FSH) Follicle-stimulating hormone**، الهرمونَيْنِ اللذيْنِ ينبِّهانِ الغددَ التناسليَّةَ لإفرازِ الهرموناتِ الجنسيَّةِ. عندَ الإناثِ ينبِّهُ هذانِ الهرمونانِ المبايضَ لإفرازِ **الإستروجين Estrogen** و**البروجسترون Progesterone**. وعندَ التحضيرِ لحملٍ محتملٍ، تسبِّبُ الهرموناتُ الجنسيَّةُ تحريرَ بويضةٍ واحدةٍ شهريًّا من المبيضِ، كما تزيدُ نموَّ بطانةِ الرحمِ. والإستروجينُ ينظِّمُ الصفاتِ الجنسيَّةَ الثانويَّةَ الأنثويَّةَ أيضًا. عندَ الذكورِ ينبِّهُ الهرمونُ المنبِّهُ للجسمِ الأصفرِ الخصيتينِ لإفرازِ مجموعةٍ من الهرموناتِ الجنسيَّةِ التي تسمّى **الأندروجينات Androgens**، وأحدُها **التستسترونُ Testosterone**، هرمونُ الذكورةِ الذي ينظِّمُ الصفاتِ الجنسيَّةَ الثانويَّةَ الذكريَّةَ. يعملُ التستسترونُ، بالتعاونِ مع الهرمونِ المنبِّهِ للحوصلةِ على إنتاجِ الحيواناتِ المنويَّةِ.

بدايةُ البلوغِ المبكرِ عندَ البناتِ

قبلَ عقودٍ قليلةٍ كان سنُّ البلوغ عند البناتِ يبدأُ وهنَّ في الحادية عشْرةَ من أعمارِهِنَّ تقريبًا، وكنَّ يكملنَ فترةَ البلوغِ وهنَّ في الثالثةَ عشرة تقريبًا. أما الآنَ، فقد أصبحَ أكثرَ شيوعًا أن نشهدَ فترةَ البلوغ عند البناتِ في سنٍّ تراوحُ بين 9 و 10 سنواتٍ تقريبًا، وأحيانًا بين 6 و 7 سنواتٍ. يحاولُ الباحثونَ تقصِّيَ أسبابِ بدايةِ البلوغِ في سنٍّ مبكرةٍ عند البناتِ، ومعرفةَ تأثيرِ ذلكَ في صحَّةِ الشخص.

ما الذي يسبِّبُ البدايةَ المُبكِرةَ لسنِّ البلوغ؟

تشكِّلُ الوراثةُ أحدَ العواملِ العديدةِ التي تؤثِّرُ في بدايةِ سنِّ البلوغِ عند البناتِ. لقد أظهرتْ دراسةٌ أن البناتِ ذواتِ الجينِ المتماثلِ الأليلِ الذي يؤدّي إلى تحطيمِ التستسترونِ بدأنَ سنَّ البلوغِ في عمرٍ أقلَّ من ذواتِ الجينِ المتباينِ الأليلِ.

ويفترضُ بعضُ الباحثينَ أن تزايدَ نسبةِ السمنةِ عند البناتِ الشابّاتِ يمكنُ أن يكونَ عاملاً يحفِّزُ البلوغَ. وجدَ هؤلاءِ الباحثونَ أن البناتِ ذواتِ الوزنِ الزائدِ، أو البديناتِ، بدأَ البلوغُ عندهنَّ في وقتٍ مبكرٍ قياسًا على البناتِ غيرِ البديناتِ.

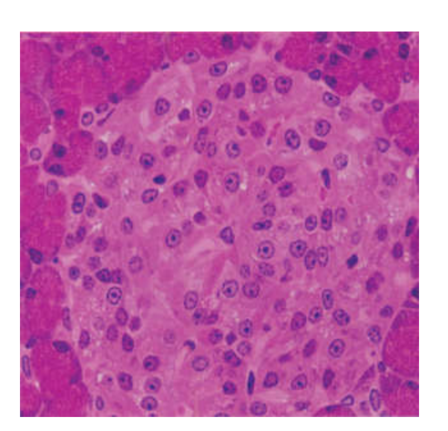
ويفترضُ باحثونَ آخرونَ أن الملوِّثاتِ يمكنُ أن تسببَ بلوغًا مبكرًا. فعلى سبيلِ المثالِ، هناك ملوِّثاتٌ تسمّى «محاكياتِ الهرموناتِ *Hormone mimics*» تعملُ كالهرموناتِ الطبيعيَّةِ. وهناكَ ملوِّثاتٌ تسمّى «معطِّلاتِ الهرموناتِ *Hormone disrupters*»، تمنعُ الهرموناتِ الطبيعيَّةَ من العملِ بشكلٍ طبيعيٍّ.

وأكثرُ معطِّلاتِ الهرموناتِ تتدخَّلُ في عملِ الهرموناتِ الجنسيَّةِ. فمعطِّلاتُ الهرموناتِ تمنعُ إنتاجَ التستسترونِ الطبيعيِّ عندَ الذكورِ أو تزيدُ من احتمالاتِ الخللِ الجنسيِّ عند الإناثِ. تتضمّنُ الأمثلةُ على معطلاتِ الهرموناتِ Phthalate esters موادَّ موجودةً في الألعابِ البلاستيكيَّةِ كالفينيلِ ومستحضراتِ التجميلِ، كما تتضمّنُ موادَّ تستعملُ لصنعِ أوعيةِ الطعامِ والشرابِ البلاستكيَّةِ.

البنكرياسُ

يحتوي البنكرياسُ، في الغالبِ، على خلايا قنويَّةٍ. لكن الخلايا المتخصِّصة في البنكرياس، وهي المسمّاةُ جزرَ لانكرهانز *Islets of Langerhans*، الشكلُ 5-7، تعملُ كغدَّةٍ صمّاءَ. تُفرزُ هذهِ الخلايا الصماءُ هرمونين ببتيديَّيْن ينظِّمان تركيزَ السكّرِ في الدمِ. **الأنسولينُ Insulin** يخفِّضُ تركيزَ السكّرِ في الدمِ من خلال تنبيههِ لخلايا الجسمِ، خصوصًا العضلاتِ، لتخزينِ الكلوكوزِ أو لاستعمالهِ للطاقةِ. وبخلافِ ذلكَ، ينبِّهُ الكلوكاكونُ خلايا الكبدِ لتحريرِ الكلوكوزِ ودفعِهِ إلى الدمِ.

ويسبِّبُ نقصُ الأنسولينِ **مرضَ السُّكَّريِّ Diabetes mellitus**، وهو الحالةُ التي تكونُ فيها الخلايا غيرَ قادرةٍ على الحصولِ على الكلوكوزِ، فيؤدِّي ذلكَ إلى تركيزٍ عالٍ للكلوكوزِ في الدمِ، وبشكلٍ غيرِ اعتياديٍّ. لدى مَرْضى السكريِّ من النوعِ I يهاجمُ جهازُ المناعةِ خلايا الجزرِ المنتجةَ للأنسولينِ فتموتُ. يُعالَجُ النوعُ I من السكَّريِّ عادةً بحقنِ الأنسولينِ في الدمِ، وأحيانًا بزرعِ خلايا الجزرِ. ومرضُ السكَّريِّ من النوعِ II يحدثُ عادةً بعد سنِّ الـ 40، وهو شائعٌ أكثرَ من النوعِ I، وسببُهُ أن الأنسولينَ غيرُ كافٍ، أو أن المستقبلاتِ للخليَّةِ الهدفِ أقلُّ تجاوبًا. وبالرَّغمِ من أن النوعَ II وراثيٌّ، فإن بدايتَهُ مرتبطةٌ بالسمنةِ وأسلوبِ الحياةِ الخاملِ. ويمكنُ التحكُّمُ بالنوعِ II في أغلبِ الأحيانِ من خلالِ التمارينِ الرياضيَّةِ والحميةِ. مع مرضِ السكّريِّ، يمنعُ الكلوكوزُ الفائضُ الكليتَينِ من إعادةِ امتصاصِ الماءِ، فينتجُ عن ذلكَ كمِّيّاتٌ كبيرةٌ من البولِ. هذا يمكنُ أن يسبِّبَ جفافًا وتلفًا في الكلى. والنقصُ في الأنسولينِ قد يؤدّي إلى الاختلالِ في توازنِ الموادِّ الذائبةِ، الحمضيَّةِ والقلويَّةِ.

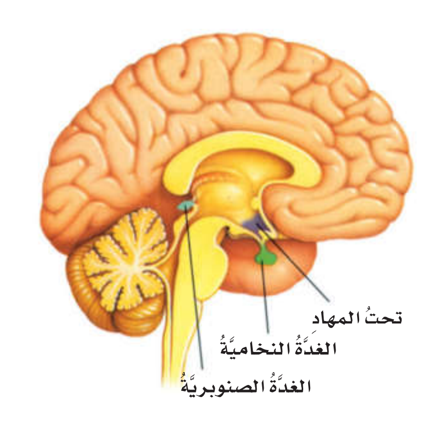


الشكلُ 5-7
مقطعٌ عرضيٌّ من نسيجٍ بنكرياسيٍّ يُظهرُ جزرَ لانكرهانس (المنطقةَ الباهتةَ اللونِ). هذهِ الخلايا الصمّاءُ محاطةٌ بالخلايا القنويَّةِ التي تنتجُ العصارةَ الهضميَّةَ. (315 ×)

الجدولُ 5-2 الغددُ الصمّاءُ الرئيسةُ ووظائفُها

الغددُ	الهرمونُ	الوظيفةُ
القشرةُ الكظريَّةُ	الألدوسترونُ الكورتيزولُ	يساعدُ على الاحتفاظِ بالأملاحِ والماءِ يساعدُ على إنتاجِ الكلوكوزِ من البروتيناتِ
النخاعُ الكظريُّ	الإيبينفرينُ والنورإيبينفرينُ	يحرِّكُ ردَّ فعلِ الجسمِ على الإجهادِ وردَّ فعلِ الكرِّ أو الفرِّ ضدَّ الخطرِ
المبيضُ	الإستروجينُ البروجسترونُ	ينظِّمُ الصفاتِ الجنسيَّةَ الثانويَّةَ الأنثويَّةَ يحافظُ على نموِّ بطانةِ الرحمِ
البنكرياسُ (جزرُ لانجرهانز)	الكلوكاجونُ الأنسولينُ	ينبِّهُ تحريرَ الكلوكوزِ ينبِّهُ الخلايا لامتصاصِ الكلوكوزِ
الغددُ جارِ الدرقيَّةِ	هرمونُ جارِ الدرقيَّةِ	يزيدُ من تركيزِ الكالسيومِ في الدمِ
الغدَّةُ الصنوبريَّةُ	الميلاتونينُ	ينظِّمُ أنماطَ النومِ
الغدَّةُ النخاميَّةُ	انظرْ الجدولَ 5-1	انظرِ الجدولَ 5-1
الخصيةُ	الأندروجيناتُ (التستسترونُ)	ينظِّمُ الصفاتِ الجنسيَّةَ الثانويَّةَ الذكريَّةَ، ينبِّهُ إنتاجَ الحيواناتِ المنويَّةِ
الغدَّةُ الزعتريَّةُ	الثيموسينُ	ينبِّهُ نضوجَ الخلايا T
الغدَّةُ الدرقيَّةُ	الثايروكسينُ والثايرونينُ ثلاثيا اليودِ الكالسيتونينُ	ينظِّمانِ الأيضَ والنموَّ يخفِّضُ تركيزَ الكالسيومِ في الدمِ

هذهِ التغيُّراتُ قد تؤدّي إلى الغثيانِ أو التنفُّسِ السريعِ أو اضطراباتِ القلبِ أو انحطاطٍ في الجهازِ العصبيِّ أو الغيبوبةِ أو حتى إلى الموتِ. أما الإفراطُ في إفرازِ الأنسولينِ فيسبِّبُ *نقصَ السكَّرِ* *Hypoglycemia*، وهو اضطرابٌ يحصلُ فيهِ تخزينُ الكلوكوزِ بدلاً من نقلِهِ إلى خلايا الجسمِ بشكلٍ صحيحٍ. ويؤدّي هذا إلى خفضِ تركيزِ الكلوكوزِ في الدمِ، فيلحقُهُ تحريرٌ هرمونيٌّ للكلوكاكونِ والإيبينفرينِ. تتضمّنُ أعراضُ نقصِ السكَّرِ الخمولَ والدوخةَ والعصبيَّةَ والحركةَ المفرطةَ، وهي في الحالاتِ الحادَّةِ، تشملُ الغيبوبةَ وحتى الموتَ.



الشكل 5-8
تقعُ الغدَّةُ الصنوبريَّةُ قربَ قاعدةِ الدماغِ، وتُفرزُ هرمونَ الميلاتونينِ في الليلِ.

الغددُ الصمّاءُ الأخرى

يوجدُ في جهازِ الغددِ الصمّاءِ غددٌ أخرى، منها الغدَّةُ الزعتريَّةُ والغدَّةُ الصنوبريَّةُ والغددُ جاراتُ الدرقيَّةِ. ويوجدُ كذلك خلايا صمّاءُ متخصِّصةٌ أيضًا في الدماغِ والمعدةِ والأمعاءِ الدقيقةِ والكبدِ وأعضاءٍ أخرى. الغددُ الصمّاءُ الرئيسةُ ووظائفُها مدرجةٌ في الجدولِ 5-2.

الغدَّةُ الزعتريَّةُ

تقعُ الغدَّةُ الزعتريَّةُ خلفَ عظمِ القصِّ بين الرئتَين. ولها دورٌ في تطويرِ جهازِ المناعةِ. تُفرزُ الغدَّةُ الزعتريَّةُ *الثايموسين* *Thymosin*، وهو هرمونٌ ببتيديٌّ ينبِّهُ نضجَ الخلايا T، التي تساعدُ في الدفاعِ عن الجسمِ ضدَّ مسبِّباتِ الأمراضِ.

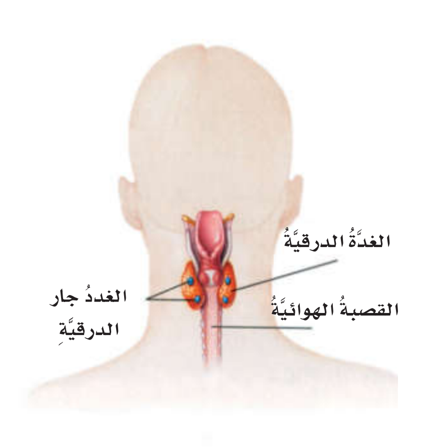
الغدَّةُ الصنوبريَّةُ

تقعُ الغدَّةُ الصنوبريَّةُ قربَ قاعدةِ الدماغِ، الشكلُ 5-8. وهي تُفرزُ هرمونَ **الميلاتونين Melatonin** الذي يتزايدُ تركيزُهُ بقوةٍ في اللّيلِ، وينخفضُ بشكلٍ واضحٍ في النهارِ. يفيدُ هذا الإطلاقُ الدوريُّ للميلاتونينِ في تنظيمِ أنماطِ النومِ.

الغددُ جار الدرقيَّةِ

تنغرسُ الغددُ جار الدرقيَّةِ الأربعةُ في الجانبِ الخلفيِّ من الغدَّةِ الدرقيَّةِ، اثنتانِ في كلِّ فصٍّ، الشكل 5-9. وهي تُفرزُ هرمونَ *جار الدرقيَّةِ* *Parathyroid hormone*، الذي ينبِّهُ إلى نقلِ أيوناتِ الكالسيومِ من العظامِ إلى الدمِ. وهكذا يكونُ لهرمونِ جار الدرقيَّةِ تأثيرٌ معاكسٌ للكالسيتونينِ. إن التوازنَ الصحيحَ لأيوناتِ الكالسيومِ ضروريٌّ لانقسامِ الخليَّةِ وتقلُّصِ العضلاتِ وتخثُّرِ الدمِ وتكوينِ السيّالاتِ العصبيّةِ.

الشكل 5-9
كما يظهرُ في هذهِ الجهةِ الخلفيَّةِ من الرأسِ، تقعُ الغددُ جار الدرقيَّةِ الأربعُ في الجانبِ الخلفيِّ من الغدَّةِ الدرقيَّةِ. تُفرزُ هذه الغددُ الهرمونَ الذي ينظِّمُ تركيزَ أيوناتِ الكالسيومِ في الدمِ.



الخلايا الهضميَّةُ

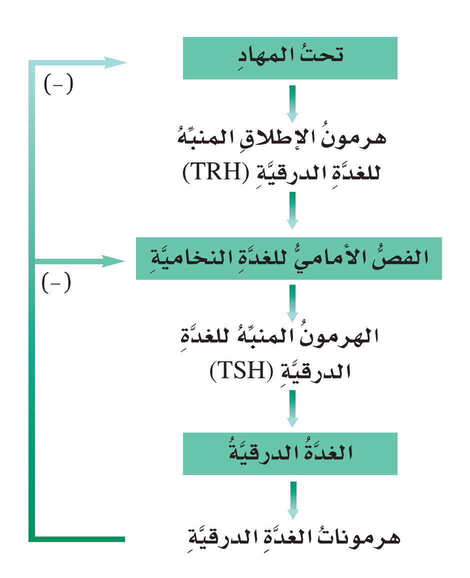
تُفرزُ بعضُ الخلايا ضمنَ جدرانِ بعضِ الأعضاءِ الهضميَّةِ هرموناتٍ تسيطرُ على عمليّاتِ الهضمِ. على سبيلِ المثالِ، عندما يؤكلُ الطعامُ، فإن هذه الخلايا في جدارِ المعدةِ تفرزُ هرمونَ *كاسترين* *Gastrin* الذي ينبِّهُ خلايا أخرى للمعدةِ لإطلاقِ أنزيماتٍ هاضمةٍ وحامضِ الهيدروكلوريك. كذلك تحرِّرُ بعضُ الخلايا في الأمعاءِ الدقيقةِ *السكرتين* *Secretin*، وهو هرمونٌ ينبِّهُ إفرازَ العصاراتِ الهاضمةِ من البنكرياسِ.

آليّاتُ التغذيةِ الراجعةِ

يُعرفُ الاتّزانُ الداخليُّ على أنهُ بيئةٌ داخليَّةٌ ثابتةٌ. ولجهازِ الغددِ الصمّاءِ دورٌ مهمٌّ في الحفاظِ على الاتزانِ الداخليِّ لأن الهرموناتِ تنظِّمُ أنشطةَ الخلايا والأنسجةِ والأعضاءِ في جميعِ أنحاءِ الجسمِ. للحفاظِ على الاتّزانِ الداخليِّ، تتحكَّمُ آليّاتُ التغذيةِ الراجعةِ في إفرازِ الهرموناتِ. وفي هذه الآليّاتِ، تتحكَّمُ الخطوةُ الأخيرةُ في سلسلةِ الأحداثِ بالخطوةِ الأولى. ويمكنُ أن تكونَ آليّاتُ التغذيةِ الراجعةِ سلبيَّةً أو إيجابيَّةً. إلا أن التغذيةَ الراجعةَ السلبيَّةَ هي الأكثرُ شيوعًا في التنظيمِ الهرمونيِّ.

التغذيةُ الراجعةُ السلبيَّةُ

في **التغذيةِ الراجعةِ السلبيَّةِ Negative feedback**، تثبِّطُ الخطوةُ النهائيَّةُ في سلسلةِ الأحداثِ المحفِّزَ الأوليَّ في السلسلةِ. يُظهرُ الشكلُ 5-10 مثلاً على التغذيةِ الراجعةِ السلبيَّةِ في تنظيمِ تركيزِ هرموناتِ الغدَّةِ الدرقيَّةِ. عندما يكونُ تركيزُ هرموناتِ الغدَّةِ الدرقيَّةِ منخفضًا، يتنبَّهُ تحتُ المهادِ ويُفرزُ هرمونًا يسمّى هرمونَ *الإطلاقِ المنبِّهَ للغدَّةِ الدرقيَّةِ Thyrotropin releasing hormone (TRH)* ويعبرُ الهرمونُ TRH إلى الفصِّ الأماميِّ من الغدَّةِ النخاميَّةِ، وينبِّهُهُ ليفرزَ TSH في الدمِ. ينبِّهُ TSH الغدَّةَ الدرقيَّةَ لإفرازِ هرموناتِ الغدَّةِ الدرقيَّةِ. وعندما يكونُ تركيزُ هرموناتِ الغدَّةِ الدرقيَّةِ عاليًا، تعملُ حلقتا تغذيةٍ راجعةٍ سلبيَّةٍ رئيستان، كما يظهرُ بالإشاراتِ السلبيَّةِ في الشكلِ 5-10. في الحلقةِ الأولى، تعملُ هرموناتُ الغدَّةِ الدرقيَّةِ على تحتِ المهادِ لتثبيطِ تحريرِ TRH. في الحلقةِ الثانيةِ، تعملُ هرموناتُ الغدَّةِ الدرقيَّةِ على الفصِّ الأماميِّ من الغدَّةِ النخاميَّةِ لتثبيطِ تحريرِ TSH. وتكونُ النتيجةُ نقصًا في تركيزِ هرموناتِ الغدَّةِ الدرقيَّةِ في الدمِ. يساعدُ التفاعلُ هذه الآليّاتِ على إبقاءِ تركيزِ هرموناتِ الغدَّةِ الدرقيَّةِ ثابتًا نسبيًّا.

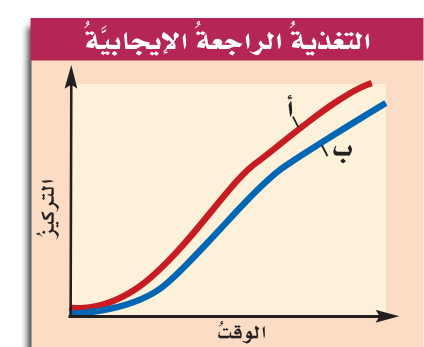


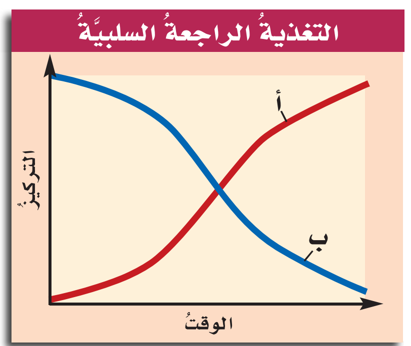
الشكل 5-10

تنظِّمُ هرموناتُ الغدَّةِ الدرقيَّةِ معدَّلَ عمليّاتِ الأيضِ عبرَ عدَّةِ آليّاتِ تغذيةٍ راجعةٍ سلبيَّةٍ، ويظهرُ هنا اثنتانِ منها. يثبِّطُ التركيزُ العالي لهرموناتِ الغدَّةِ الدرقيَّةِ تحتَ المهادِ فتمنعُهُ من تحريرِ الهرمونِ TRH، وتثبِّطُ الفصَّ الأماميَّ من الغدَّةِ النخاميَّةِ فتمنعُهُ من تحريرِ TSH.

الشكل 5-11

في التغذيةِ الراجعةِ السلبيَّة تَمنَعُ المادَّةُ الثانويةُ (أ) من إنتاجِ المادَّةِ المحفِّزةِ الأوليَّةِ (ب). في التغذيةِ الراجعةِ الإيجابيَّة تُحفِّزُ المادَّةُ الثانويَّةُ (أ) على إنتاجِ المادَّةِ المحفِّزةِ الأوليَّةِ (ب).





التغذيةُ الراجعةُ الإيجابيَّةُ

عندما يتمُّ تنظيمُ الهرموناتِ عبرَ **التغذيةِ الراجعةِ الإيجابيَّةِ Positive feedback**، ينبِّهُ تحريرُ هرمونٍ أوّليٍّ لتحريرَ أو إنتاجَ هرموناتٍ أخرى أو موادَّ أخرى، وهذا ينبِّهُ لتحريرٍ إضافيٍّ للهرمونِ الأوليِّ. فمثلاً، ينبِّهُ تركيزُ الإستروجين المرتفعُ اندفاعًا مفاجئًا في إفرازِ الهرمونِ المنبِّهِ للجسمِ الأصفرِ قبلَ الإباضةِ. يظهرُ في الشكلِ 5-11 الاختلافُ بين أنظمةِ التغذيةِ الراجعةِ السلبيَّةِ ونظيرتِها الإيجابيَّةِ.

الهرموناتُ المتضادّةُ

يعملُ عددٌ من الهرموناتِ معًا، أزواجًا لتنظيمِ تركيزِ الموادِّ الحرجةِ. هذه الهرموناتُ تسمّى *الهرموناتِ المتضادَّةَ Antagonistic hormones* لأن أعمالَها ذاتُ تأثيراتٍ متعاكسةٍ. الكلوكاكونُ والأنسولينُ يشكلانِ مثالينِ للهرموناتِ المتضادّةِ. فهما يحافظانِ على تركيزٍ معيّنٍ للكلوكوزِ في الدم. عندما يكونُ تركيزُ الكلوكوزِ في الدم عاليًا، كما بعدَ تناولِ وجبةِ طعامٍ، يتسبَّبُ الأنسولينُ في نقلِ الكلوكوزِ من الدمِ إلى خلايا الجسمِ لتخزنَهُ أو لتستعملَهُ فورًا. ويحدثُ عكسُ ذلك عندما يكونُ تركيزُ الكلوكوزِ في الدمِ منخفضًا، كما بين وجباتِ الطعامِ، إذْ يزيدُ الكلوكاكونُ من تحريرِ الكلوكوزِ في الدمِ من مواقعِ التخزينِ في الكبدِ أو في مكانٍ آخرَ. ويوفِّرُ الأنسولينُ والكلوكاجونُ معًا الحفاظَ على تركيزِ الكلوكوزِ في الدمِ. الكالسيتونينُ وهرمونُ جاراتِ الدرقيَّةِ هما مثلانِ آخرانِ على الهرموناتِ المتضادّةِ.

مراجعةُ القسمِ 5-2

1. كيفَ يتفاعلُ تحتُ المهادِ والغدَّةُ النخاميَّةُ للتحكُّمِ في تحريرِ بعضِ الهرموناتِ في جهازِ الغددِ الصمّاءِ؟
2. عدِّدْ ستَّ غددٍ صمّاءَ رئيسةٍ واذكرْ وظائفَها؟
3. كيفَ تسهمُ آليَّةُ التغذيةِ الراجعةِ في الحفاظِ على الاتِّزانِ الداخليِّ؟
4. فيمَ تختلفُ آليَّةُ التغذيةِ الراجعةِ السلبيَّةِ عن آليَّةِ التغذيةِ الراجعةِ الإيجابيَّةِ؟
5. قارنْ بين تأثيرِ كلٍّ من الكلوكاكونِ والأنسولينِ في تركيزِ الكلوكوزِ في الدمِ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

6. يقولُ زميلٌ لك أن الهرموناتِ يُفرزُها النخاعُ الكظريُّ لا القشرةُ الكظريَّةُ، كاستجابةٍ للإجهادِ. هل تتَّفقُ معهُ في الرأيِ؟ وضِّحْ إجابتَك.
7. يحتاجُ الجسمُ إلى اليودِ في الطعامِ لصنعِ الهرموناتِ الدرقيَّةِ. ما الأثرُ الذي يمكنُ أن يتركَهُ افتقارُ الغذاءِ إلى اليودِ في التغذيةِ الراجعةِ السلبيَّةِ للهرموناتِ الدرقيَّةِ؟

مراجعةُ الفصل 5

ملخصٌ / مفرداتٌ

1-5

- الهرموناتُ موادُّ كيميائيَّةٌ تُفرزُها خلايا تعملُ لتنظيمِ نشاطِ خلايا أخرى.
- للهرموناتِ وظائفُ عديدةٌ، منها تنظيمُ النموِّ والحفاظُ على الاتزانِ الداخليِّ وتنظيمُ إنتاجِ الطاقةِ وتنظيمُ استعمالِها وتخزينِها.
- تنتجُ غددٌ لاقنويَّةٌ، تسمّى الغددَ الصمّاءَ معظمَ هرموناتِ الجسمِ. تنتجُ خلايا متخصِّصةٌ، في الدماغِ والمعدةِ وفي أعضاءٍ أخرى، هرموناتٍ وتحرِّرُها. تُفرزُ الغددُ القنويَّةُ موادَّ كيميائيَّةً غيرَ هرمونيَّةٍ داخلَ مواقعَ معيَّنةٍ في الجسمِ.
- ترتبطُ الهرموناتُ الببتيديَّةُ بالمستقبلاتِ الموجودةِ على الأغشيةِ الخلويَّةِ للخلايا الهدفِ، فتنشِّطُ رسولاً ثانيًا ليقومَ بدورِهِ في تنشيطِ أو تعطيلِ الأنزيماتِ في سلسلةٍ من التفاعلاتِ.
- ترتبطُ الهرموناتُ الستيرويديَّةُ والدرقيَّةُ بالمستقبلاتِ داخلَ الخليَّةِ: يرتبطُ مركَّبُ الهرمونِ–المستقبلِ بالـ DNA في النواةِ فيفعِّلُ الجيناتِ أو يوقفُ عملَها.
- تؤثِّرُ الببتيداتُ العصبيَّةُ والبروستاكلاندينات في خلايا قريبةٍ لتجعلَها تنظِّمُ النشاطاتِ الخلويَّةَ. وهذا شبيهٌ بعملِ الهرموناتِ.

مفرداتٌ

- **البروستاكلاندينُ** Prostaglandin (93)
- **الببتيدُ العصبيُّ** Neuropeptide (93)
- **جهازُ الغددِ الصمّاءِ** Endocrine system (91)
- **الخليَّةُ الهدفُ** Target cell (92)
- **الرسولُ الثاني** Second messenger (92)
- **الغدَّةُ الصماءُ** Endocrine gland (91)
- **الغدَّةُ القنويَّةُ** Exocrine gland (91)
- **المستقبِلُ** Receptor (92)
- **الهرمونُ** Hormone (91)
- **الهرمونُ الستيرويديُّ** Steroid hormone (91)
- **الهرمونُ الببتيديُّ** Peptide hormone (91)

2-5

- تحتُ المهادِ والغدَّةُ النخاميَّةُ يعملانِ كمركزينِ رئيسَيْنِ للتحكُّمِ في تحريرِ العديدِ من الهرموناتِ.
- تُفرزُ الغدَّةُ الدرقيَّةُ هرموناتٍ درقيَّةً تنظِّمُ الأيضَ والنموَّ والتطوُّرَ، كما تُفرزُ الكالسيتونينَ الذي يُسهمُ في تنظيمِ تركيزِ الكالسيومِ في الدمِ.
- تُفرزُ الغدَّةُ الكظريَّةُ الإيبينفرينَ والنورإيبينفرينَ والكورتيزولَ والألدوسترونَ وهرموناتٍ أخرى تُسهمُ في تنظيمِ الأيضِ وتوازنِ الماءِ واستجاباتِ الجسمِ للإجهادِ والخطرِ.
- تُفرزُ الغددُ التناسليَّةُ الإستروجينَ والبروجسترونَ عند الإناثِ، والأندروجيناتِ، ومن ضمنها التستسترونُ عند الذكورِ. تنظِّمُ هذه الهرموناتُ وظائفَ التكاثرِ.
- تُفرزُ جزرُ لانجرهانز في البنكرياسِ الكلوكاكونَ والأنسولينَ اللذَينِ ينظِّمانِ تركيزَ الكلوكوزِ في الدمِ.
- تشتملُ الغددُ الصمّاءُ الأخرى على الغدَّةِ الزعتريَّةِ والغدَّةِ الصنوبريَّةِ وجارِ الدرقيَّةِ وخلايا الجهازِ الهضميِّ الصمّاءِ.
- تسهمُ آليّاتُ التغذيةِ الراجعةِ في الحفاظِ على الاتِّزانِ الداخليِّ.
- في التغذيةِ الراجعةِ السلبيَّةِ، يثبِّطُ الناتجُ النهائيُّ في السلسلةِ الخطوةَ الأولى. تَستعمِلُ هرموناتٌ عديدةٌ التغذيةَ الراجعةَ السلبيَّةَ، لأنها تمنعُ التراكمَ الفائضَ للناتجِ الهرمونيِّ.
- في التغذيةِ الراجعةِ الإيجابيَّةِ، ينبِّهُ الناتجُ النهائيُّ في السلسلةِ الخطوةَ الأولى.
- الهرموناتُ المتضادَّةُ، كالكلوكاجونِ والأنسولينِ، تعملُ معًا لتنظيمِ تركيزِ الموادِّ الحرجةِ.

مفرداتٌ

- **الإستروجينُ** Estrogen (97)
- **الألدوسترونُ** Aldosterone (97)
- **الأندروجينُ** Androgen (97)
- **الأنسولينُ** Insulin (99)
- **الإيبينفرينُ** Epinephrine(97)
- **البروجسترونُ** Progesterone (97)
- **تحتُ المهادِ** Hypothalamus (94)
- **التستسترونُ** Testosterone (97)
- **التغذيةُ الراجعةُ الإيجابيَّةُ** Positive feedback (102)
- **التغذيةُ الراجعةُ السلبيَّةُ** Negative feedback (101)
- **سنُّ البلوغِ** Puberty (97)
- **الغدَّةُ التناسليَّةُ** Gonad (97)
- **الغدَّةُ الدرقيَّةُ** Thyroid gland (96)
- **الغدَّةُ الكظريَّةُ** Adrenal gland (96)
- **الغدَّةُ النخاميَّةُ** Pituitary gland (94)
- **القشرةُ** Cortex (96)
- **الكورتيزولُ** Cortisol (97)
- **اللب** Medulla (96)
- **مرضُ السكّريّ** Diabetes mellitus (99)
- **الميلاتونينُ** Melatonin (100)
- **النورإيبينفرينُ** Norepinephrine (97)
- **الهرمونُ المنبِّهُ للجسمِ الأصفرِ** Luteinizing hormone (97)
- **الهرمونُ المنبِّهُ للحوصلةِ** Follicle-stimulating hormone (97)

مراجعةٌ

مفرداتٌ

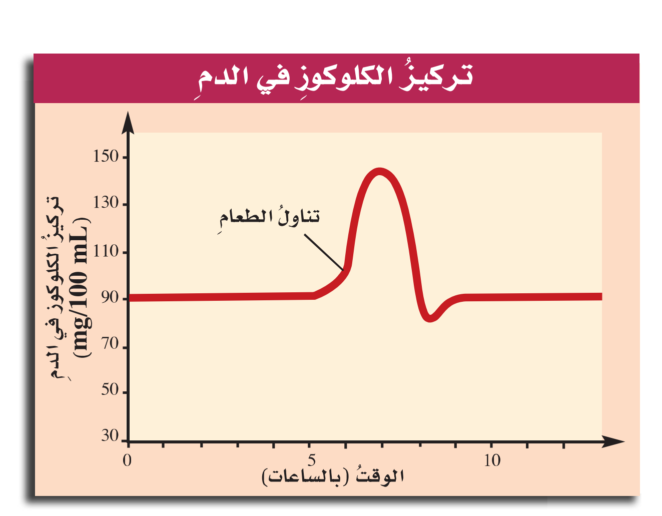
1. اخترْ من كلِّ مجموعةٍ المصطلحَ الذي لا ينتمي إليها، واشرحْ سببَ عدمِ انتمائِهِ.
   أ. الأنسولينَ، البروستاكلاندينَ، الكلوكاكونَ
   ب. الأكسيتوسينَ، الإيبينفرينَ، الهرمونَ المضادَّ للتبوُّلِ
   ج. الألدوستيرونَ، الكورتيزولَ، الكلوكاكونَ
2. وضِّح العلاقةَ بين مفهومَيْ كلِّ زوجٍ من الأزواجِ التاليةِ.
   أ. الخلايا الهدفِ، المستقبلات
   ب. الغدَّةِ النخاميَّةِ، الغدَّةِ الدرقيَّةِ
3. استخدم المفاهيمَ التاليةَ في جملةٍ واحدةٍ: الإستروجينَ، البروجسترونَ، التستسترونَ.

اختيارٌ من مُتعدِّدٍ

اخترْ حرفَ الجوابِ الصحيحِ.

4. ماذا تسمّى الرسلُ الكيميائيَّةُ لجهازِ الغددِ الصمّاءِ؟
   أ. الخلايا العصبيَّةُ.
   ب. الهرمونات.
   ج. خلايا الدم.
   د. الكربوهيدرات.
5. X و Y هرمونان. X ينبِّهُ إفرازَ Y الذي يتسببُ في تغذيةٍ راجعةٍ سلبيةٍ ترتدُّ على الخلايا التي تُفرزُ X. ماذا يحدثُ إذا انخفضَ تركيزُ Y؟
   أ. ينخفضُ إفرازُ X.
   ب. يزيدُ إفرازُ X.
   ج. يتوقَّفُ إفرازُ Y.
   د. يتوقَّفُ إفرازُ X.
6. الغددُ الصماءُ:
   أ. تكونُ فاعلةً فقط بعدَ سنِّ البلوغِ.
   ب. تكونُ فاعلةً فقط قبلَ سنِّ البلوغِ.
   ج. تحرِّرُ ما تنتجُهُ عبرَ قنواتٍ.
   د. تُحرِّرُ ما تنتجُهُ في مجرى الدمِ.

استندْ إلى الرسمِ البيانيِّ التالي للإجابةِ عن السؤالين 7 و 8.



7. ماذا يحدثُ بعدَ أن يؤكلَ الطعامُ؟
   أ. يرتفعُ تركيزُ الكلوكوزِ في الدمِ.
   ب. يهبطُ تركيزُ الكلوكوزِ في الدمِ.
   ج. يبقى تركيزُ الكلوكوزِ في الدمِ ثابتًا.
   د. يهبطُ تركيزُ الكلوكوزِ في الدمِ، ثم يرتفعُ.
8. أيُّ هرموناتٍ مسؤولةٌ بشكلٍ رئيسٍ عن التغيُّراتِ في تركيزِ الكلوكوزِ في الدمِ بعدَ حوالَي ساعتينِ من أكلِ الطعامِ؟
   أ. الأنسولينُ.
   ب. الإستروجينُ والبروجسترونُ.
   ج. الإيبينفرينُ والنورإيبينفرينُ.
   د. الألدوسترونُ وهرموناتُ جاراتِ الدرقيَّةِ.
9. النواقلُ العصبيَّةُ : الجهازُ العصبيُّ ؛ الهرموناتُ :
   أ. جهازُ التغذيةِ الراجعةِ.
   ب. جهازُ الغددِ الصمّاءِ.
   ج. الجهازُ الدوريُّ.
   د. الجهازُ التنفُّسيُّ.

يظهرُ الجدولُ التالي التركيزَ النسبيَّ للهرمونِ المنبِّهِ للغدةِ الدرقيةِ خلالَ 12 ساعةً. استخدمِ الجدولَ التالي للإجابةِ عن السؤالِ الذي يليهِ.

الوقتُ (ساعات)	تركيزُ الهرمونِ المنبِّهِ للغدةِ الدرقيةِ في الدمِ
0	طبيعي
4	عالٍ
8	طبيعي
12	منخفض

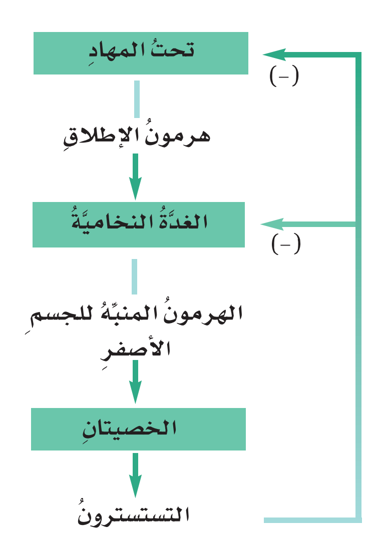
10. الهرمونُ المنبِّهُ للغدَّةِ الدرقيةِ هو هرمونٌ ينبِّهُ تحريرَ الهرموناتِ الدرقيَّةِ من الغدَّةِ الدرقيَّةِ. في كمْ من الوقتِ تتوقَّعُ أن يكونَ تركيزُ الهرموناتِ الدرقيةِ عند حدِّهِ الأدنى؟
    أ. 0 ساعةٍ.
    ب. 4 ساعاتٍ.
    ج. 8 ساعاتٍ.
    د. 12 ساعةً.

إجابةٌ قصيرةٌ

11. حدِّدْ أربعَ وظائفَ رئيسةٍ للهرمونات.
12. ما الاختلافُ بين الغددِ الصمّاءِ والغددِ القنويَّةِ؟
13. ما سلسلةُ الخطواتِ التي تحدثُ خلالَ عملِ الهرموناتِ الببتيديَّةِ على خلاياها الهدفِ؟
14. ما سلسلةُ الخطواتِ التي تحدثُ خلالَ عملِ الهرموناتِ الستيرويدية على خلاياها الهدفِ؟
15. وضِّحْ لماذا تعدُّ الببتيداتُ العصبيَّةُ من الهرمونات.
16. وضِّحْ طريقتين يتشابهُ فيهما جهازُ الغددِ الصماءِ والجهازُ العصبيُّ.
17. ناقش كيفَ يتفاعلُ تحتُ المهادِ والغدَّةُ النخاميَّةُ للتحكُّمِ في تحريرِ العديدِ من الهرمونات.
18. لخِّصِ الوظائفَ الرئيسةَ لهرموناتِ الغدةِ الدرقية.
19. اذكرْ هرمونين تُفرزُهما الغدةُ الكظريةُ عندما يواجهُ شخصٌ معينٌ الإجهادَ.
20. اذكرْ هرمونين ينبِّهانِ إفرازَ الهرموناتِ الجنسيةِ من الغددِ التناسلية.
21. لخِّصِ العواملَ غيرَ الوراثيةِ التي ترتبطُ ببدءِ نشوءِ النوعِ II من مرضِ السكَّريِّ.
22. ما دورُ الهرمونِ كاسترين في عمليةِ الهضمِ؟
23. وضِّحْ دورَ آلياتِ التغذياتِ الراجعةِ في الحفاظِ على الاتزانِ الداخلي.
24. فسِّرْ لماذا لا تعدُّ التغذيةُ الراجعةُ الإيجابيةُ طريقةً فعّالةً للتحكمِ في تركيزِ الهرمونات.
25. فسِّرْ كيفَ تنظِّمُ التغذيةُ الراجعةُ السلبيةُ تركيزَ هرموناتِ الغدةِ الدرقية.
26. كيفَ يعملُ الأنسولين والكلوكاكون معًا كهرمونَينِ متضادّين من أجلِ التحكُّمِ في تركيزِ الكلوكوز في الدم؟
27. إن البنكرياسَ ذو وظائفَ عديدةٍ تتعلَّقُ بالهضم. وضِّحْ لماذا يعتبرُ البنكرياسُ غدةً صماءَ وغدةً قنويةً في آنٍ واحد؟
28. استخدمِ المفرداتِ التاليةَ لوضعِ خريطةِ مفاهيمَ تصفُ جهازَ الغددِ الصماءِ: تحتَ المهاد، الغدةَ النخاميَّةَ، الغدةَ الدرقيَّةَ، الهرمونات، الغددَ الكظريَّةَ، البنكرياسَ، الخليةُ الهدفِ.

تفكيرٌ ناقدٌ

1. لماذا يُعدّ تلفُ الغدةِ النخاميةِ أخطرَ بكثيرٍ من تلفِ الغددِ الصمّاءِ الأخرى؟
2. ما أهميةُ التطابقِ بين المستقبلِ البروتينيِّ والهرمونِ؟
3. ما نوعُ آليةِ التغذيةِ الراجعةِ المبيَّنةِ في هذا الرسمِ التخطيطيِّ؟ صِفْها.



توسيعُ آفاقِ التفكيرِ

يسهمُ جهازُ الغددِ الصمّاءِ في الحفاظِ على التوازنِ الداخليِّ. ينظِّمُ جهازُ الغددِ الصماءِ أنشطةً عديدةً تتطلبُ إبقاءَ مادَّةٍ حرجةٍ في تركيزٍ لا يتفاوتُ كثيرًا.

1. وضِّحْ كيفَ تشتركُ أزواجُ الهرموناتِ في تنظيمِ تركيزِ الموادِّ الحرجةِ.
2. أعطِ مثلاً على زوجٍ معيَّنٍ من الهرموناتِ، لتوضحَ فيهِ كيفَ يعملُ للحفاظِ على تركيزِ مادَّةٍ حرجةٍ.

الفصـــل 6

الجهازُ التناسليُّ



صورةٌ لجنينٍ في الأسبوعِ الثامنِ من عمرِهِ. لاحظِ الحبلَ السرّيَّ والمشيمةَ اللذَين يمرُّ من خلالِهما الأكسجينُ والموادُّ الغذائيَّةُ من الأمِّ إلى الجنينِ.

المفهومُ الرئيسُ التركيبُ والوظيفةُ

وأنت تقرأُ لاحظْ كيفَ تتلاءَمُ تراكيبُ الجهازَيْنِ التناسليَّينِ الذكريِّ والأنثويِّ لإتمامِ عمليّاتِ الإخصابِ والنموِّ والتطوُّرِ.

1-6 الجهازُ التناسليُّ الذكريُّ
2-6 الجهازُ التناسليُّ الأنثويُّ
3-6 الحملُ

الجهازُ التناسليُّ الذكريُّ

الغددُ التناسليَّةُ، أي الخُصَى والمبايضُ، هي غددٌ صمّاءُ تفرزُ هرموناتٍ جنسيَّةً. لكنَّ الوظيفةَ الأساسيَّةَ للغددِ التناسليَّةِ ليستْ إنتاجَ الهرموناتِ، بل إنتاجَ وتخزينَ الأمشاجِ أي الحيواناتِ المنويَّةِ والبيوضِ. وهناك أعضاءٌ أخرى في الجهازِ التناسليِّ الذكريِّ تُهيِّئُ الحيواناتِ المنويَّةَ لإخصابِ محتملٍ لبيضةٍ.

القســـم

1-6

النواتج التعليمية

▲ يحدِّدُ التراكيبَ الرئيسةَ للجهازِ التناسليِّ الذكريِّ.

● يصفُ وظيفةَ كلِّ تركيبٍ من تراكيبِ الجهازِ التناسليِّ الذكريِّ.

■ يوضحُ التلاؤمَ بين تركيبِ الحيوانِ المنويِّ ووظيفتِهِ.

◆ يتتبَّعُ مسارَ الحيواناتِ المنويَّةِ من حيثُ تكوَّنتْ إلى مكانِ خروجِها من الجسمِ.

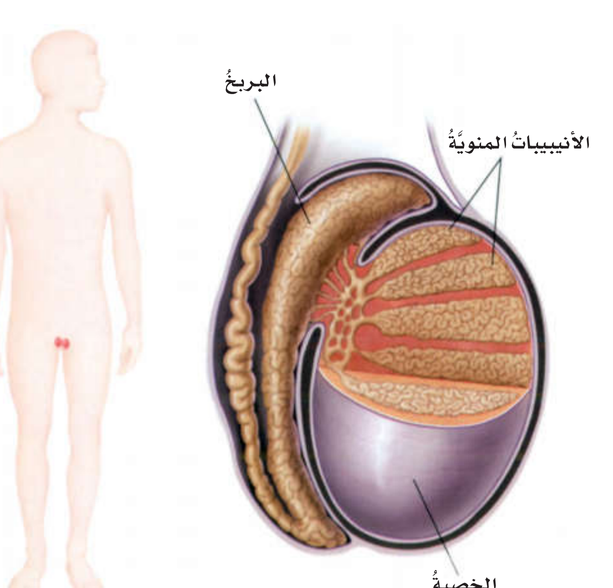
التراكيبُ التناسليَّةُ الذكريَّةُ

تتضمَّنُ عمليةُ التكاثرِ الجنسيِّ تكوينَ لاقحةٍ ثنائيَّةِ العددِ الكروموسوميِّ من مشيجَينِ أُحاديَّيِ العددِ الكروموسوميِّ عن طريقِ الإخصابِ. ودورُ الذكرِ في التكاثرِ الجنسيِّ هو إنتاجُ حيواناتٍ منويَّةٍ وإيصالُها إلى الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ لإخصابِ البيضةِ.

يشتملُ جهازُ الذكرِ التناسليُّ على خصيتَيْنِ بيضويتَي الشكلِ. و**الخُصى Testes** (مفردُها خُصيَةٌ *Testis*) هي الأعضاءُ التي تُنتِجُ الأمشاجَ في الجهازِ التناسليِّ الذكريِّ. يبلغُ طولُ الخصيةِ حوالَيْ 4 cm وقطرُها 2.5 cm، ويوجدُ في كلِّ خصيةٍ 250 حجرةً تقريبًا، كما يظهرُ في الشكلِ 6-1. تحتوي هذه الحُجُراتُ على الكثيرِ من الأنيبيباتِ الملتفّةِ بإحكامٍ، والتي تسمّى **الأنيبيباتِ المنويَّةَ Seminiferous tubules**. يبلغُ طولُ كلِّ أنيبيبٍ منويٍّ 80 cm تقريبًا، ومجموعُ أطوالِ الأنيبيباتِ في الخصيتَينِ معًا يصلُ إلى 500 m تقريبًا. تتكوَّنُ الحيواناتُ المنويَّةُ بطريقةِ الانشطارِ الاختزاليِّ الذي يتمُّ في جدرانِ الأنيبيباتِ المنويَّةِ المتخصِّصةِ.

تتكوَّنُ الخصيتانِ داخلَ التجويفِ البطنيِّ قبلَ ولادةِ الذكرِ، ثم تنتقلانِ من هذا التجويفِ وتهبطانِ إلى كيسٍ خارجيٍّ يسمّى **كيسَ الصَّفَنِ Scrotum**. إن درجةَ الحرارةِ داخلَ كيسِ الصَّفَنِ أقلُّ من درجةِ الحرارةِ داخلَ البطنِ بحوالَيْ 2°C إلى 3°C، ودرجةُ حرارةِ الجسمِ الطبيعيَّةِ 37°C، فهي أعلى من درجةِ الحرارةِ التي تسمحُ للحيواناتِ المنويَّةِ بإكمالِ تكوينِها. إنَّ درجةَ الحرارةِ الأقلَّ في كيسِ الصَّفَنِ ضروريَّةٌ لتكوُّنِ الحيواناتِ المنويَّةِ الطبيعيَّةِ.

الشكل 6-1
تتكوَّنُ الحيواناتُ المنويَّةُ بشكلٍ مستمرٍّ في الأنيبيباتِ المنويَّةِ التي تكوِّنُ الجزءَ الأكبرَ من كلِّ خصيةٍ. وقبلَ أن تتركَ الجسمَ، تنضجُ الحيواناتُ المنويَّةُ وتخزنُ في كلِّ بربخٍ.

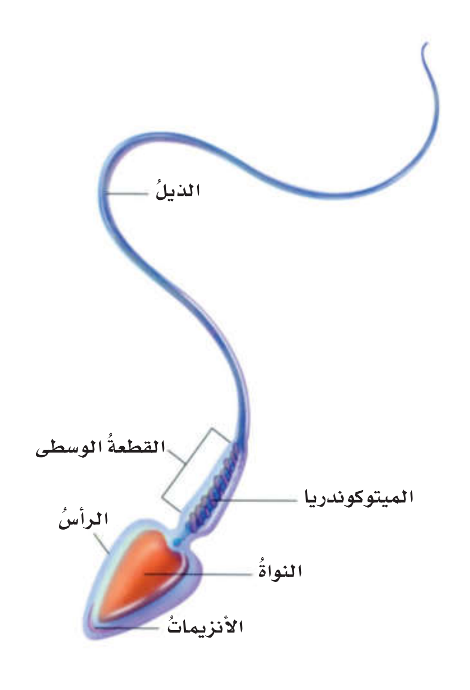


تكوينُ الحيواناتِ المنويَّة

يبدأُ الذكورُ إنتاجَ الحيواناتِ المنويَّةِ عندَ سنِّ البلوغِ، أي في مرحلةِ المراهقةِ، حينَ يصبحُ التكاثرُ ممكنًا بفضلِ التغيُّراتِ الجسميَّةِ الملائمةِ. فهناكَ هرمونانِ يحرِّرُهما الفصُّ الأماميُّ للغدَّةِ النخاميَّةِ ينظِّمانِ عملَ الخصيتَيْنِ. *الهرمونُ المنبِّه للجسمِ الأصفرِ (LH) Luteinizing Hormone*، وهو يحفِّزُ إفرازَ الهرمونِ الجنسيِّ التستسترونُ. وهو الهرمونُ الجنسيُّ الذكريُّ الرئيسُ الذي تُفرِزُهُ الخلايا الواقعةُ بينَ الأنيبيباتِ المنويَّةِ في الخصيتَيْنِ. *والهرمونُ المنبِّهُ للحوصلةِ (FSH) Follicle-Stimulating Hormone*، يحفِّزُ بالتعاونِ مع التستسترونِ إنتاجَ الحيواناتِ المنويَّةِ في الأنيبيباتِ المنويَّةِ. والذكرُ يواصلُ عادةً إنتاجَ الحيواناتِ المنويَّةِ معظمَ أيامِ حياتِهِ، ويبقى كذلكَ إذا بقي تركيزُ التستسترونِ عندَهُ كافيًا.

تتضمنُ عمليَّةُ تكوُّنِ الأمشاجِ عند الإنسانِ عمليَّةَ الانشطارِ الاختزاليِ الذي يؤدّي إلى تنصيفِ العددِ الثنائيِّ للكروموسوماتِ (46=2n) إلى العددِ الأحاديِّ للكروموسوماتِ (23=1n)، فتَنْتجُ أربعةُ حيواناتٍ منويّةٍ من كلِّ خليّةٍ دخلت الانشطارَ الاختزاليّ. تمرُّ الحيواناتُ المنويَّةُ، لكي تنضجَ، في تغيُّراتٍ مهمَّةٍ تُهيِّئُها للمرورِ داخلَ الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ.

يُظهرُ الشكلُ 6-2 تركيبَ الحيوانِ المنويِّ الناضجِ. لاحظْ أن الحيوانَ المنويَّ يتكوَّنُ من ثلاثةِ أجزاءٍ، هي الرأسُ والقطعةُ الوسطى والذيلُ أو السوطُ. تحتوي قمَّةُ الرأسِ على أنزيماتٍ تساعدُ الحيواناتِ المنويَّةَ أثناءَ الإخصابِ على اختراقِ الطبقاتِ الوقائيَّةِ المحيطةِ بالبيضةِ. كما تحتوي منطقةُ الرأسِ على 23 كروموسومًا هي التي تندمجُ مع كروموسوماتِ البيضةِ. وتحتوي القطعةُ الوسطى على أعدادٍ كبيرةٍ من الميتوكوندريا التي تزوِّدُ الحيوانَ المنويَّ بالطاقةِ اللازمةِ للحركةِ. ويتكوّنُ الذيلُ من سوطٍ واحدٍ قويٍّ يحرِّكُ الحيوانَ المنويَّ.



الشكل 6-2
الحيوانُ المنويُّ الناضجُ هو خليَّةٌ تتكوَّنُ من ثلاثةِ أجزاءٍ (الرأسُ، والقطعةُ الوسطى، والذيلُ)، وجميعُها مغلَفَةٌ بغشاءٍ خلويٍّ.

مسارُ الحيواناتِ المنويَّةِ عبرَ الجهازِ التناسليِّ الذكريِّ

تنتقلُ الحيواناتُ المنويَّةُ الناضجةُ عبرَ عدَّةِ تراكيبَ تناسليَّةٍ ذكريةٍ أخرى، بعضُها يهيِّئُ الحيواناتِ المنويَّةَ للرحلةِ المحتملةِ عبرَ الجهازِ التناسليِّ الأنثوي. يُظهرُ الشكلُ 6-3 المسارَ الذي تسلكُهُ الحيواناتُ المنويَّةُ وهي تغادرُ الجسمَ.

تنتقلُ الحيواناتُ المنويَّةُ من الأنيبيباتِ المنويَّةِ في الخصيةِ إلى **البربخ Epididymis**، وهو أنبوبٌ طويلٌ ملتفٌّ يتَّصلُ بالخصيةِ. تنضجُ الحيواناتُ المنويَّةُ ضمنَ البربخِ، حيثُ يكتملُ تكوُّنُ السوطِ، وتكتسبُ الحيواناتُ المنويَّةُ القدرةَ على الحركةِ. وبالرُّغمِ من أن أكثرَ الحيواناتِ المنويَّةِ تبقى مخزَّنةً في البربخِ، فإن بعضَها يتركُ ويعبرُ **الوعاءَ الناقلَ Vas deferens**، وهو قناةٌ تمتدُّ من البربخِ. تنقبضُ العضلاتُ الملساءُ التي تغلِّفُ الوعاءَ الناقلَ لتسهمَ في نقلِ الحيواناتِ المنويَّةِ وهي تغادرُ الجسمَ. يدخلُ الوعاءُ الناقلُ التجويفَ البطنيَّ حيثُ يلتفُّ حولَ المثانةِ ويندمجُ بالإحليلِ. والإحليلُ هو أيضًا القناةُ التي يغادرُ البولُ المثانةَ عبرَها. هكذا يغادرُ كلٌّ من البولِ والحيواناتِ المنويَّةِ جسمَ الذكرِ عبرَ الإحليلِ، ولكن ليس في الوقتِ نفسِهِ.

وفي الإحليل تمتزجُ الحيواناتُ المنويَّةُ بالسوائلِ التي تفرزُها ثلاثُ غددٍ إفرازيَّةٍ هي الحويصلاتُ المنويَّةُ وغدَّةُ البروستاتِ وغدَّتا كوبر. تتَّصلُ القنواتُ التي تنطلقُ من هذه الغددِ بالإحليل. وتفرزُ هذه الغددُ السوائلَ التي تغذِّي وتحمي الحيواناتِ المنويَّةَ أثناءَ مرورِها داخلَ الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ. **فالحويصلاتُ المنويَّةُ Seminal vesicles**، التي تقعُ بين المثانةِ والمستقيم، تُنتجُ سائلاً غنيًّا بالسكُّريّاتِ تستخدمُهُ الحيواناتُ المنويَّةُ كمصدرٍ للطاقة. **وغدَّةُ البروستاتِ Prostate gland**، التي تقعُ تحت المثانةِ مباشرةً، تفرزُ سائلاً قلويًّا يعادلُ الأحماضَ في الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ. وقبلَ أن تغادرَ الحيواناتُ المنويَّةُ الجسمَ، تفرزُ **غدّتا كوبر Cowper's glands** سائلاً قلويًّا يعادلُ بقايا البولِ الحمضيِّ في الإحليل. الحيواناتُ المنويَّةُ وهذه الإفرازاتُ معًا تشكِّلُ **السائلَ المنويَّ Semen** الذي يساعدُ الحيواناتِ المنويَّةَ على التحرُّكِ عبر الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ. ويحتوي السائلُ المنويُّ أيضًا على البروستاكلاندينِ الذي يحفِّزُ تقلُّصاتِ العضلاتِ الملساءِ التي تبطِّنُ المسالكَ التناسليَّةَ الأنثويَّة.

الشكل 6-3
يتكوَّنُ الجهازُ التناسليُّ الذكريُّ من عدةِ تراكيبَ داخليَّةٍ وخارجيَّةٍ. تشيرُ الأسهمُ إلى المسارِ الذي تسلكُهُ الحيواناتُ المنويَّةُ وهي تغادرُ الجسمَ.

إيصالُ الحيواناتِ المنويَّةِ

تمرُّ قناةُ الإحليلِ عبرَ **القضيبِ Penis**، وهو العضوُ الذي يوصلُ الحيواناتِ المنويَّةَ إلى داخلِ الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ. يُدفعُ السائلُ المنويُّ بقوةٍ من القضيبِ، تَدفعُهُ تقلُّصاتُ العضلاتِ الملساءِ التي تحيطُ بالإحليل. وتسمّى هذه العمليَّةُ **القذفَ Ejaculation**. يراوحُ حجمُ كلِّ قذفٍ بين 3 و 4 مللتراتٍ من السائلِ المنويِّ. وتشكِّلُ الحيواناتُ المنويَّةُ 10% فقط من هذا الحجم. وبالرّغمِ من أن ما يحتوي عليهِ القذفُ الواحدُ يراوحُ بين 300 و 400 مليونِ حيوانٍ منويٍّ فإن القليلَ جدًّا من هذه الحيواناتِ المنويَّةِ يصلُ إلى موقعِ الإخصابِ، لأن البيئةَ الحمضيَّةَ للمسالكِ التناسليَّةِ الأنثويَّةِ تقتلُ معظمَ الحيواناتِ المنويَّةِ.

مراجعةُ القسمِ 6-1

1. لماذا توجدُ الخصيتانِ في كيسِ الصَّفَنِ وليسَ داخلَ جسمِ الذكرِ؟
2. صفْ تركيبَ حيوانٍ منويٍّ ناضجٍ.
3. تتبَّعِ المسارَ الذي تسلكُهُ الحيواناتُ المنويَّةُ وهي تغادرُ الجسمَ.
4. ما وظيفةُ الوعاءِ الناقلِ؟
5. ما التراكيبُ التي تُنتجُ سوائلَ تمتزجُ بالحيواناتِ المنويَّةِ لتشكلَ السائلَ المنويَّ عندَ الذكرِ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

6. لماذا ينتجُ الجهازُ التناسليُّ الذكريُّ أعدادًا كبيرةً من الحيواناتِ المنويَّةِ؟
7. هل من رابطٍ بين الملابسِ الداخليَّةِ الضيِّقةِ وانخفاضِ عددِ الحيواناتِ المنويَّةِ عند بعضِ الرجالِ؟ لماذا؟

القسم

2-6

النواتج التعليمية

▲ يحدّد التراكيبَ الرئيسة للجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ.

● يصفُ وظيفةَ كلِّ تركيبٍ للجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ.

■ يصفُ كيفيَّةَ إنتاجِ البيوضِ.

◆ يلخِّصُ مراحلَ دورةِ المبيضِ.

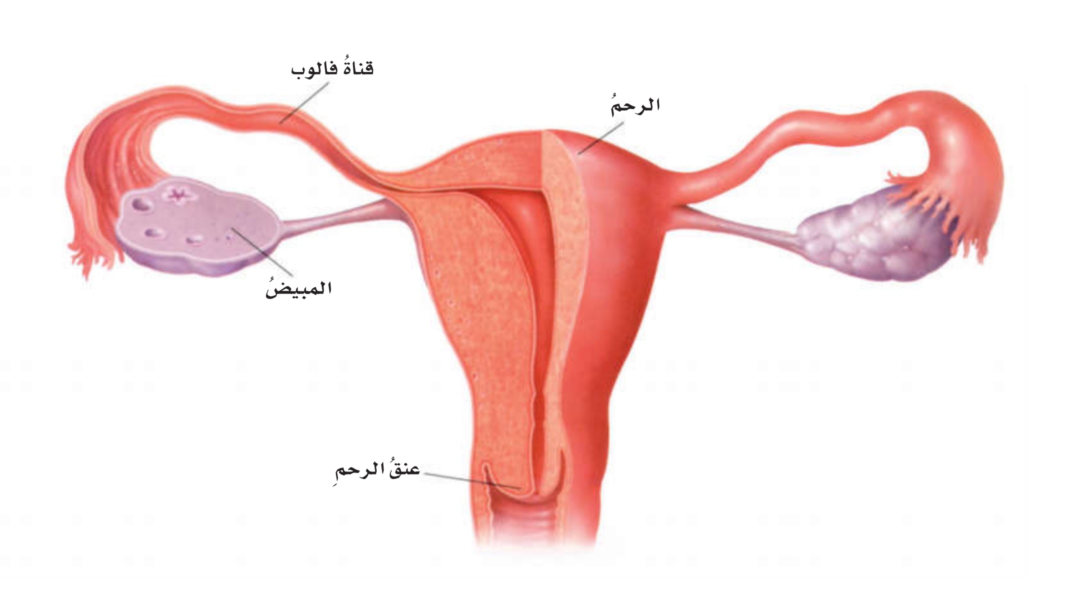
الجهازُ التناسليُّ الأنثويُّ

المبايضُ هي الغددُ التناسليَّةُ الأنثويَّةُ، وهي، مثلُ الخُصى، غددٌ صمّاءُ تنتجُ الأمشاجَ. يهيِّئُ الجهازُ التناسليُّ الأنثويُّ الأمشاجَ الأنثويّةَ، أي البيوضَ، للإخصابِ المنتظرِ. ويحتوي هذا الجهازُ على تراكيبَ تمكِّنُ من حدوثِ عمليّةِ الإخصابِ، وتُؤوي الجنينَ وتغذِّيهِ طوالَ مراحلِ نموِّه.

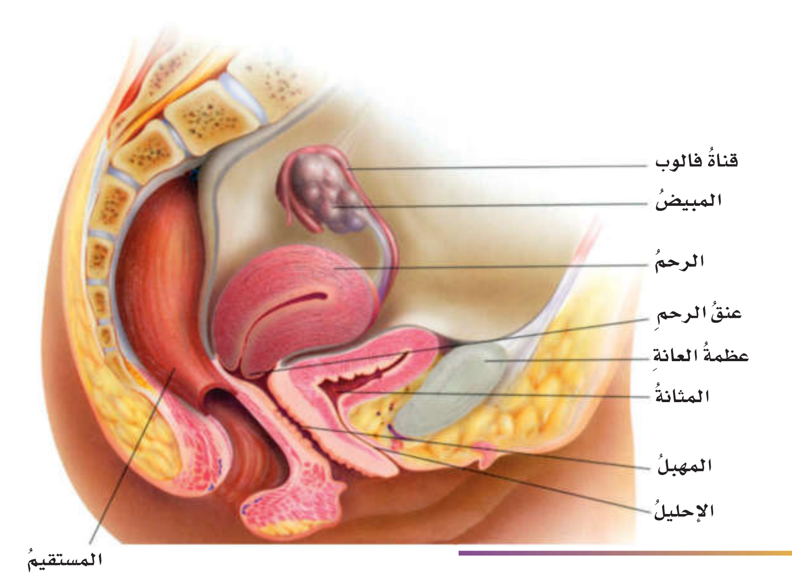
التراكيبُ التناسليّةُ الأنثويّةُ

يحتوي الجهازُ التناسليُّ الأنثويُّ على **مَبيضَيْن Ovaries** لوزيَّي الشكلِ، يقعانِ في منطقةِ أسفلِ البطنِ. وهما العضوانِ المنتجانِ للأمشاجِ في الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ. تنضجُ البيوضُ قربَ سطحِ المبيضِ الذي يبلغُ طولُه حواليَ 3.5 cm وقطرُه حوالي 2 cm. تحرَّرُ البيضةُ الناضجةُ وتنتقلُ إلى التجويفِ البطنيِّ، حيثُ تدفعُها حركةُ الأهدابِ إلى فتحةِ **قناةِ فالوب Fallopian tube** القريبةِ. كما أن التقلُّصاتِ المنتظمةَ للعضلاتِ الملساءِ في قناةِ فالوبَ تحرِّكُ البيضةَ الناضجةَ إلى أسفلَ، وتؤدّي بها إلى الرحمِ، كما يظهرُ في الشكل 6-4. و**الرحمُ Uterus** عضوٌ عضليٌّ مجوَّفٌ يقاربُ حجمُهُ حجمَ قبضةِ يدٍ صغيرةٍ. فإذا تمَّ إخصابُ البيضةِ، فإنها ستنمو وتتطوّرُ في الرَّحِمِ.

الشكل 6-4
المبايضُ هي أعضاءُ الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ التي تنتجُ الأمشاجَ الأنثويّةَ. يغذّي الرحمُ الجنينَ أثناءَ الحمل.



المدخلُ السفليُّ للرحمِ يسمّى **عُنقَ الرحم Cervix**. وتتحكَّمُ في فتحةِ الرَّحمِ عضلةٌ عاصرةٌ *Sphincter muscle* موجودةٌ في عُنقِ الرحمِ. وعُنقُ الرحمِ يتَّصلُ بأنبوبٍ عضليٍّ يسمّى **المهبلَ Vagina**، يؤدّي إلى خارجِ جسمِ الأنثى، الشكل 6-5. وهو الذي يتلقّى الحيواناتِ المنويّةَ من القضيبِ، كما أنهُ يشكِّلُ القناةَ التي يخرجُ عبرَها الوليدُ أثناءَ الولادةِ.



الشكل 6-5
الجهازُ التناسليُّ الأنثويُّ يشتملُ على عدَّةِ تراكيبَ داخليَّةٍ وخارجيَّةٍ تمكِّنُ من حدوثِ الإخصابِ والنموِّ والتطورِ.

تكوينُ البيوضِ

تولدُ الأنثى حاملةً في مبيضَيْها أكثرَ من 400 000 بيضةٍ. هذه البيوضُ غيرُ ناضجةٍ، ولا يمكنُ إخصابُها. إن مجموعَ عددِ البيوضِ الناضجةِ التي تحرِّرُها الأنثى من سنِّ البلوغِ حتى سنِّ الـ 50 سنةً تقريبًا يراوحُ بين 300 و 400 بيضةٍ، أي بمعدلِ بيضةٍ واحدةٍ كلَّ 28 يومًا تقريبًا. وهذا يعني أن نسبةَ البيوضِ التي سيتمُّ نضجُها لا تتعدّى 1%.

ينتجُ تكوُّنُ البيوضِ، كتكوُّنِ الحيواناتِ المنويّةِ، عن الانشطارِ الاختزاليّ. لذلك ستحتوي كلُّ بيضةٍ ناضجةٍ عند الإنسانِ على 23 كروموسومًا (العددُ الأحاديُّ للكروموسوماتِ). وخلافًا لتكوُّنِ الحيواناتِ المنويَّةِ الذي ينتجُ خلالَهُ أربعُ حيواناتٍ منويَّةٍ فاعلةٍ من كلِّ خليَّةٍ أنهتِ الانشطارَ الاختزاليَّ، تؤدّي عمليَّةُ تكوُّنِ البيوضِ إلى إنتاجِ أربعِ خلايا من كلِّ خليَّةٍ أنهتِ الانشطارَ الاختزاليَّ، من بينِها بيضةٌ واحدةٌ فاعلةٌ. تبدأُ البيوضُ غيرُ الناضجةِ كلُّها الانشطارَ الاختزاليَّ، لكنها تتوقفُ في الطورِ التمهيديِّ الأولِ حتى تصلَ الأنثى إلى سنِّ البلوغِ. عندها، تنبِّهُ الهرموناتُ الجنسيَّةُ نضجَ البيوضِ. تنبِّهُ هذه الهرموناتُ من 10 إلى 20 بويضةً غيرَ ناضجةٍ لتنضجَ، كلَّ 28 يومًا، لاستئنافِ الانشطارِ الاختزاليِّ. وواحدةٌ فقط من هذه البيوضِ تكملُ الانشطارَ الاختزاليَّ الأوّلَ وتتحرَّرُ من المبيضِ. ينتجُ عن الانشطارِ الاختزاليِّ الأولِ خليتانِ أحاديَّتا العددِ الكروموسوميِّ. إحداهُما تحتوي على معظمِ السيتوبلازمِ وتتمكَّنُ من أن تصبحَ بيضةً ناضجةً. الخليَّةُ الأحاديَّةُ العددِ الكروموسوميِّ الثانيةُ، أو الجسمُ القطبيُّ الأوّلُ، تحتوي على كمِّيّةٍ قليلةٍ جدًّا من السيتوبلازمِ. عندَ الإنسانِ، يموتُ الجسمُ القطبيُّ الأوّلُ دون أن ينقسمَ مجدَّدًا. ولا يتمُّ الانشطارُ الاختزاليُّ الثاني ما لم يُخصِّبْ حيوانٌ منويٌّ البيضةَ. إذا تحقَّقَ الإخصابُ، تُكمِلُ البيضةُ الانشطارَ الاختزاليَّ الثانيَ لتنتجَ بيضةً ناضجةً وجسمًا قطبيًّا ثانيًا. يموتُ الجسمُ القطبيُّ الثاني بينما تحتفظُ **البويضةُ الناضجةُ Ovum** بأغلبِ السيتوبلازمِ، الذي يوفِّرُ الموادَّ الغذائيَّةَ للبيضةِ خلالَ المراحلِ المبكرةِ لنموِّها وتطوُّرِها. البيضةُ الظاهرةُ في الشكلِ 6-6 أكبرُ بحواليَّ 75,000 مرّةٍ من الحيوانِ المنويِّ، ويمكنُ رؤيتُها بالعينِ المجردةِ.



الشكل 6-6
يقتربُ حيوانٌ منويٌّ واحدٌ من هذه البيضةِ. لاحظِ الاختلافَ الكبيرَ في الحجمِ بين البيضةِ والحيوانِ المنويِّ.

التحضيرُ للحَمْلِ

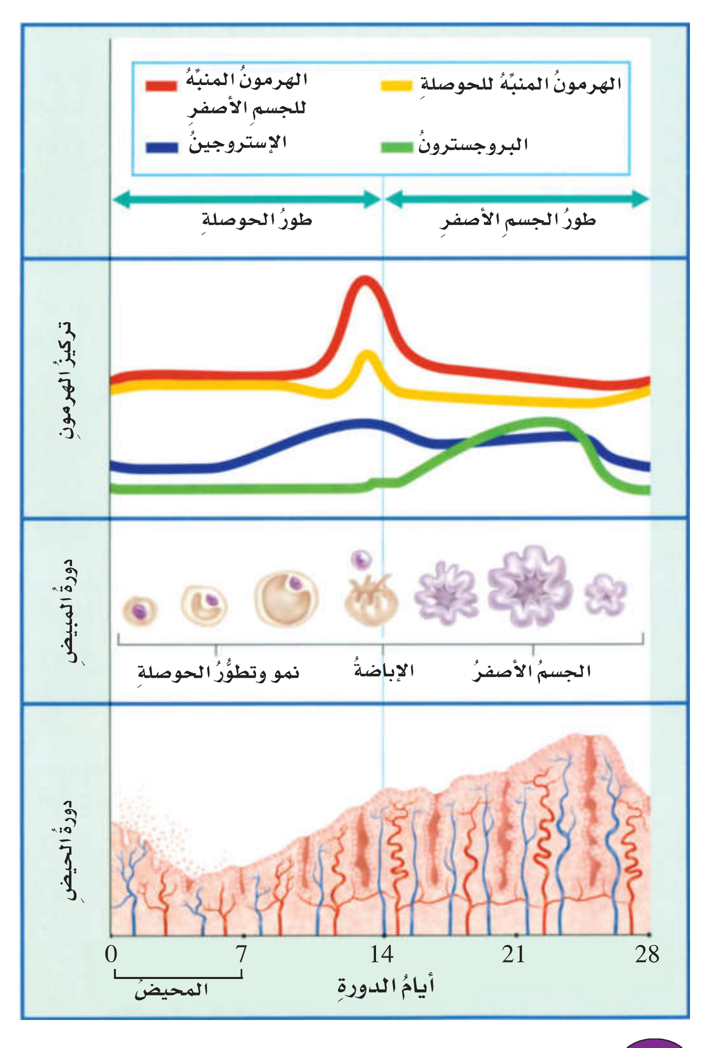
كلَّ شهرٍ يحضِّرُ الجهازُ التناسليُّ الأنثويُّ بيضةً ويحرِّرُها عبرَ سلسلةٍ من الأحداثِ تسمّى **دورةَ المبيضِ Ovarian cycle**. في هذا الوقتِ، تنضجُ بيضةٌ وتدخلُ قناةَ فالوب حيثُ تكونُ قادرةً على الاندماجِ مع حيوانٍ منويٍّ. وإذا لم تندمجِ البيضةُ مع حيوانٍ منويٍّ، فإنها تتحلَّل. وتقسمُ دورةُ المبيضِ إلى ثلاثِ مراحلَ، هي طورُ الحوصلةِ والإباضةُ وطورُ الجسمِ الأصفرِ. هذه المراحلُ تنظِّمُها هرموناتٌ يفرزُها جهازُ الغددِ الصماءِ. وفي أثناءِ دورةِ المبيضِ، تهيِّئُ **دورةُ الحيضِ Menstrual cycle** الرحِمَ لحملٍ منتظَرٍ. تستمرُّ دورتا الحيضِ والمبيضِ حواليَّ 28 يومًا. يلخِّصُ الشكلُ 6-7 مراحلَ دورتَي الحيضِ والمبيضِ.

طورُ الحَوْصَلةِ

تكملُ خليَّةُ البيضةِ غيرِ الناضجةِ انقسامَها الأوَّلَ للانشطارِ الاختزاليِّ خلالَ **طورِ الحوصلةِ Follicular phase**. يبدأُ هذا الطَّوْرُ عندما يفرزُ تحتُ المهادِ هرمونَ الإطلاقِ الذي ينبِّهُ الفصَّ الأماميَّ للغدَّةِ النخاميَّةِ إلى إفرازِ *الهرمونِ المنبِّهِ للحوصلةِ FSH*. وهذا الهرمونُ ينبِّهُ الانقسامَ الخلويَّ في **الحوصلةِ Follicle**، التي هي طبقةٌ من الخلايا المحيطةِ ببيضةٍ غيرِ ناضجةٍ. تزوِّدُ خلايا الحوصلةِ البيضةَ بالموادِّ الغذائيَّةِ، وتفرزُ أيضًا الإستروجينَ الذي ينبِّهُ الانقساماتِ الخيطيةِ لخلايا بطانةِ الرحمِ، وهو ما يسبِّبُ ازديادًا في سمكِ البطانةِ. يدومُ طورُ الحوصلةِ 14 يومًا تقريبًا. وخلالَ هذا الوقتِ، يواصلُ تركيزُ الإستروجينِ في الدمِ ارتفاعَهُ، وتنتقلُ البيضةُ إلى سطحِ المبيضِ. يؤدّي تركيزُ الإستروجينِ المرتفعُ إلى تغذيةٍ راجعةٍ موجبةٍ، فيُنبِّهُ الفصَّ الأماميَّ للغدَّةِ النخاميَّةِ لإفرازِ الهرمونِ المنبِّهِ للجسمِ الأصفرِ (LH)، الذي ينبِّهُ بدءَ حدوثِ الطورِ التالي من دورةِ الحيضِ.

الإباضةُ

ينتجُ عن الارتفاعِ الحادِّ في تركيزِ الهرمونِ المنبِّهِ للجسمِ الأصفرِ، الذي يحدثُ في منتصفِ دورةِ المبيضِ، انفجارُ الحوصلةِ وتحريرُ البيضةِ. يسمّى تحريرُ البيضةِ من الحوصلةِ المنفجرةِ **الإباضةَ Ovulation**. بعدَ الإباضةِ تنتقلُ البيضةُ إلى قناةِ فالوبَ حيثُ تنتظرُ الإخصابَ، وبعدَ الإخصابِ تنتقلُ عبرَ القناةِ نحو الرحمِ. وتحتوي البيضةُ على موادَّ غذائيَّةٍ كافيةٍ لبقائِها على قيدِ الحياةِ حواليَّ 24 ساعةً.



الشكل 6-7
خلالَ الأيامِ الـ 28 من دورتَيْ المبيضِ والحيضِ، تنضجُ بيضةٌ واحدةٌ وتحرَّرُ من المبيضِ، ويستعدُّ الرَّحِمُ للحملِ المحتملِ. تنظِّمُ الهرموناتُ التي ينتجُها الفصُّ الأماميُّ للغدَّةِ النخاميَّةِ والمبايضِ أحداثَ هذه الدورةِ.

طورُ الجسمِ الأصفرِ

تنمو خلايا الحوصلةِ المنفجرةِ فتملأُ تجويفَ الحوصلةِ، وتكوِّنُ تركيبًا جديدًا يسمّى **الجسمَ الأصفرَ Corpus luteum**. وهذا الطورُ من دورةِ المبيضِ يسمّى **طورَ الجسمِ الأصفرِ Luteal phase**. يبدأ الجسمُ الأصفرُ في إفرازِ كمِّيّاتٍ كبيرةٍ من البروجسترونِ والإستروجينِ. البروجسترونُ ينبِّهُ نموَّ الأوعيةِ الدمويَّةِ وتخزينَ السوائلِ والموادِّ الغذائيَّةِ في بطانةِ الرحمِ أثناءَ دورةِ الحيضِ. ونتيجةً لهذا التنبيهِ يزدادُ سمكُ بطانةِ الرحمِ. بالإضافةِ إلى ذلكَ يؤدّي ازديادُ تركيزِ الإستروجينِ والبروجسترونِ إلى تغذيةٍ راجعةٍ سلبيَّةٍ، ينتجُ عنها توقُّفُ الغدَّةِ النخاميَّةِ عن إفرازِ الهرمونِ المنبِّهِ للجسمِ الأصفرِ والهرمونِ المنبِّهِ للحوصلةِ. يدومُ طورُ الجسمِ الأصفرِ 14 يومًا، في أثنائِها يرتفعُ تركيزا الإستروجينِ والبروجسترونِ في الدمِ، بينما ينخفضُ تركيزا الهرمونِ المنبِّهِ للحوصلةِ والهرمونِ المنبِّهِ للجسمِ الأصفرِ.

المحيضُ

إذا تمَّ إخصابُ البيضةِ تنغرسُ اللاقحةُ الناتجةُ في بطانةِ الرحمِ، حيثُ تنمو وتتطورُ خلالَ الشهورِ التسعةِ التاليةِ. ويوجدُ هرمونٌ، ينتجُ خلالَ مراحلِ الحملِ الأولى، ينبِّهُ الجسمَ الأصفرَ للاستمرارِ في إنتاجِ الإستروجينِ والبروجسترونِ، ويحافظُ على سمكِ بطانةِ الرحمِ. وإذا لم يتحققِ الإخصابُ، يتوقفُ الجسمُ الأصفرُ عن إنتاجِ الهرموناتِ الجنسيَّةِ، وفي ذلك إشارةٌ إلى نهايةِ دورةِ المبيضِ. إن غيابَ الإستروجينِ والبروجسترونِ يؤدّي إلى تحلُّلِ بطانةِ الرحمِ. في هذا الطورِ من دورةِ الحيضِ، الذي يسمّى **المحيضَ Menstruation**، تُطرَدُ بطانةُ الرحمِ مع الدمِ من الأوعيةِ الدمويّةِ المنفجرةِ عبرَ المهبلِ. يستمرُّ المحيضُ من 5 أيّامٍ إلى 7 أيّامٍ هي الأيّامُ الأولى في طورِ الحوصلةِ.

يتواصلُ المحيضُ عند أكثرِ النساءِ حتى سنِّ الـ 50 تقريبًا. عند هذا العمرِ يتوقَّفُ جسمُ المرأةِ عن الإباضةِ. وتكونُ أغلبُ حوصلاتِ المرأةِ إمّا قد نضجتْ وتفجَّرتْ وإمّا قد تحلَّلتْ. ومن دونِ الحوصلاتِ، لا تستطيعُ المبايضُ إفرازَ تركيزٍ كافٍ من الإستروجينِ والبروجسترونِ لمواصلةِ دورةِ الحيضِ. وهذه المرحلةُ تسمّى **سنَّ اليأسِ Menopause**.

مراجعةُ القسمِ 2-6

1. حدِّدِ الأعضاءَ التناسليَّةَ الأنثويَّةَ الرئيسةَ.
2. ما وظيفةُ الرَّحمِ؟
3. ما وجهُ الشبهِ بين البيضةِ والحيوانِ المنويِّ؟ وما وجهُ الاختلافِ بينهُما؟
4. ما تأثيرُ التركيزِ العالي للإستروجينِ والبروجسترونِ على الرحمِ أثناءَ طورِ الجسمِ الأصفرِ من دورةِ المبيضِ؟
5. ما دورُ الهرمونِ المنبِّهِ للجسمِ الأصفرِ في دورةِ المبيضِ؟
6. ما الجسمُ الأصفرُ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

7. ماذا تتوقَّعُ أن يحدثَ إذا حُرِّرتْ بيضتانِ أو أكثرُ من المبيضَيْنِ في وقتٍ واحدٍ؟
8. توقفَ المحيضُ عند امرأةٍ في سنِّ الـ 48، واعتقدتْ أنها حاملٌ. هل يوجدُ تفسيرٌ آخرُ غيرُ اعتقادِها هذا؟

القسم

3-6

النواتج التعليمية

▲ يصفُ سلسلةَ أحداثِ الإخصابِ والتفلُّجِ والانغراس.

● يصفُ مراحلَ الحملِ الثلاثَ.

■ يلخِّصُ كيفيَّةَ نموِّ الجنينِ وتطوُّره أثناءَ الحملِ.

◆ يناقشُ تأثيراتِ استخدامِ العقاقيرِ غيرِ الضروريَّةِ في النموِّ والتطوُّرِ.

▲ يصفُ التغيُّراتِ التي تحدثُ في جسمِ الأمِّ أثناءَ الولادةِ.

الحَمْلُ

عندما يخصِّبُ حيوانٌ منويٌّ بيضةً يتكوَّنُ ما يسمّى اللاقحةَ. وينتجُ عن اللاقحةِ فردٌ جديدٌ. خلالَ تسعةِ شهورٍ، تحوِّلُ سلسلةٌ من التغيُّراتِ خليَّةً واحدةً، هي اللاقحةُ، إلى كائنٍ حيٍّ معقَّدِ التركيبِ، مكوَّنٍ من تريليوناتٍ من الخلايا، هو الإنسانُ.

الإخصابُ

أثناءَ الجماعِ يحرِّرُ الذكرُ داخلَ مهبلِ الأنثى مئاتِ الملايينِ من الحيواناتِ المنويَّةِ فتسبحُ عبرَ المهبلِ، وعُنقِ الرَّحمِ، والرحمِ، إلى أن تدخلَ قناتَيْ فالوب. فإذا حدثتِ الإباضةُ في أيِّ وقتٍ بين 72 ساعةً قبلَ الجماعِ و 48 ساعةً بعدَ الجماعِ، فقد يصادفُ حيوانٌ منويٌّ بيضةً في إحدى قناتَيْ فالوبَ. ويحدثُ الإخصابُ عندما يندمجُ حيوانٌ منويٌّ مع بيضةٍ لتكوينِ اللاقحةِ. وبدءًا من تكوُّنِ اللاقحةِ، يتطلَّبُ نموُّ جنينِ الإنسانِ وتطوُّرُهُ حوالَيْ تسعةِ أشهرٍ، هي الفترةُ المعروفةُ بالحملِ.

تكونُ البيضةُ في قناةِ فالوبَ مغلَّفةً بمادَّةٍ شبهِ هلاميَّةٍ ومحاطةً بطبقةٍ من بعضِ خلايا الحوصلةِ التي كانتْ في المبيضِ. وقد تلتصقُ عدّةُ حيواناتٍ منويّةٍ بالبيضةِ وتحاولُ اختراقَ طبقاتِها الخارجيَّةِ. وكما يظهرُ في الشكل 6-8، تذكَّرْ أن رأسَ الحيوانِ المنويِّ يحتوي على أنزيماتٍ هضميَّةٍ. هذه الأنزيماتُ تحلُّ طبقاتِ البيضةِ الخارجيّةَ وتمكِّنُ الغشاءَ الخلويَّ المحيطَ برأسِ الحيوانِ المنويِّ من الالتحامِ بغشاءِ خليَّةِ البيضةِ. عندها تدخلُ نواةُ الحيوانِ المنويِّ والقطعةُ الوسطى إلى سيتوبلازمِ البيضةِ ويبقى ذيلُ الحيوانِ المنويِّ خارجَ البيضةِ. ينجحُ، عادةً، حيوانٌ منويٌّ واحدٌ فقط في اختراقِ البيضةِ، إذ تساعدُ التغيُّراتُ التي تحدثُ في غشاءِ خليّةِ البيضةِ، بعد دخولِ الحيوانِ المنويِّ إليها، على منعِ أيِّ حيوانٍ منويٍّ آخرَ من اختراقِها.

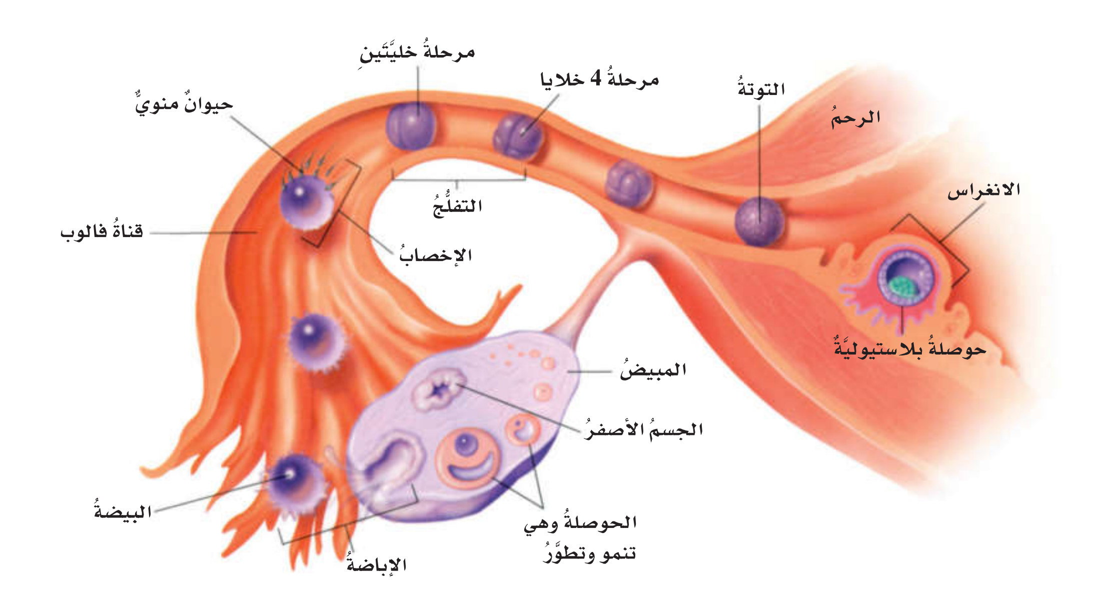
بعد أن يدخلَ الحيوانُ المنويُّ إلى البيضةِ، تُكمِلُ البيضةُ الانشطارَ الاختزاليَّ الثانيَ، وتندمجُ نواةُ الحيوانِ المنويِّ ونواةُ البيضةِ معًا. والخليّةُ الثنائيّةُ العددِ الكروموسوميِّ التي تنتجُ عن هذا الاندماجِ تسمّى *اللاقحةَ* (*البيضةَ المخصَّبةَ*) *Zygote*. تذكَّرْ أن كلَّ مشيجٍ يحتوي على 23 كروموسومًا، وهو العددُ الأحاديُّ للكروموسوماتِ (1n). هكذا يؤدّي اندماجُ نواةِ حيوانٍ منويٍّ ونواةِ بيضةٍ إلى وجودِ 46 كروموسومًا في اللاقحةِ، ويستعادُ بذلكَ العددُ الثنائيُّ للكروموسوماتِ (2n).



الشكل 6-8
تحيطُ عدّةُ حيواناتٍ منويّةٍ بهذه البيضةِ، لكنَّ واحدًا فقط يتمكَّنُ من إخصابِها (1165×).

التفلُّجُ والانغراسُ

بعدَ الإخصابِ مباشرةً، تبدأُ اللاقحةُ، وهي ما تزالُ في قناةِ فالوب، سلسلةَ انقساماتٍ خيطيةٍ تسمّى **التفلُّجَ Cleavage**. خلالَ هذه الانقساماتِ لا يزيدُ حجمُ الخلايا الناتجةِ.



الشكل 6-9

تحدثُ المراحلُ الأولى من النموِّ والتطوُّرِ داخلَ قناةِ فالوب أثناءَ انتقالِ اللاقحةِ إلى الرحمِ. يلزمُ اللاقحةَ حوالَيْ أسبوعٍ لتكملَ انتقالَها من قناةِ فالوب إلى بطانةِ الرحمِ.

ويَنتجُ عن التفلُّجِ كرةٌ من الخلايا تسمّى **التوتةَ Morula** ليستْ أكبرَ بكثيرٍ من اللاقحةِ. وتنقسمُ خلايا التوتةِ وتحرِّرُ سائلاً لتصبحَ **حوصلةً بلاستيوليَّةً Blastocyst**، وهي كرةٌ من الخلايا ذاتُ تجويفٍ كبيرٍ مليءٍ بالسائلِ. وكما يظهرُ في الشكلِ 6-9، تلتصقُ الحوصلةُ البلاستيوليَّةُ عند وصولِها إلى الرحمِ ببطانةِ الرحمِ السميكةِ. ثمَّ تحرِّرُ أنزيمًا يحطِّمُ النسيجَ الطلائيَّ الذي يبطِّنُ الرحمَ، وتنطمرُ في البطانةِ السميكةِ. هذه العمليَّةُ تسمّى **الانغراسَ Implantation**. والحملُ يبدأُ عندما يحدثُ الانغراسُ، أي بعدَ أسبوعٍ تقريبًا من الإخصابِ.

الحملُ

بعد الانغراسِ تبدأُ الحوصلةُ البلاستيوليَّةُ في النموِّ والتطوُّرِ لتتَّخذَ سماتِ جنينِ الإنسانِ. فترةُ النموِّ والتطوُّرِ هذه التي تستمرُّ تسعةَ أشهرٍ تسمّى **الحملَ Gestation** أو **Pregnancy**. ويمرُّ الحملُ في ثلاثِ مراحلَ متساويةٍ، مدَّةُ كلٍّ منها ثلاثةُ أشهرٍ. وفي أثناءِ كلٍّ منها تنشأُ تغيُّراتٌ مهمّة.

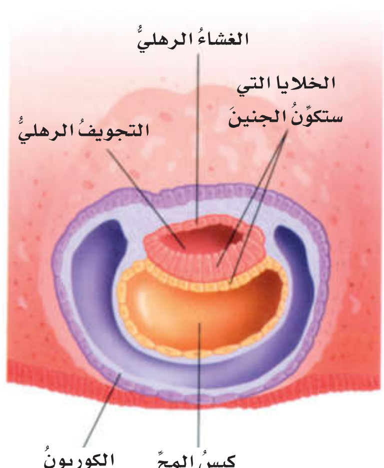
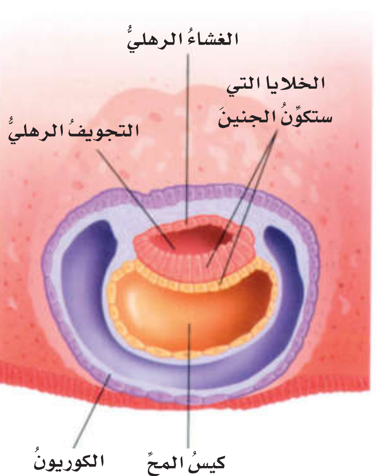
الثلُثُ الأوَّلُ

تحدثُ التغيُّراتُ الأكثرُ أهمِّيَّةً في نموِّ الإنسانِ وتطوُّرِهِ خلالَ الثلُثِ الأولِ من فترةِ الحملِ. ينمو الجنينُ ويتطوَّرُ من كتلةِ خلايا السطحِ الداخليِّ للحوصلةِ البلاستيوليّةِ. في بادئِ الأمرِ تكونُ جميعُ خلايا الكتلةِ متشابهةً. لكن، بعد وقتٍ قصيرٍ، يعادُ تنظيمُها في ثلاثةِ أنواعٍ من الخلايا المتمايزةِ التي تشكِّلُ طبقاتِ الخلايا المولِّدةِ الأوليَّةِ، وهي *الطبقةُ الخارجيَّةُ Ectoderm*، *والطبقةُ الوسطى Mesoderm*، والطبقةُ *الداخليَّةُ Endoderm*. وتنشأُ الأجزاءُ المختلفةُ من الجسمِ من طبقاتِ الخلايا المولِّدةِ الأوليَّةِ تلك.

(أ) حوصلةٌ بلاستيوليةٌ في اليومِ التاسعِ لتكوُّنِ الجنينِ

(ب) جنينٌ في اليومِ السادسَ عشرَ من عمرِهِ

(ج) جنينٌ في الأسبوعِ الرابعِ من عمرِهِ

الشكل 6-10

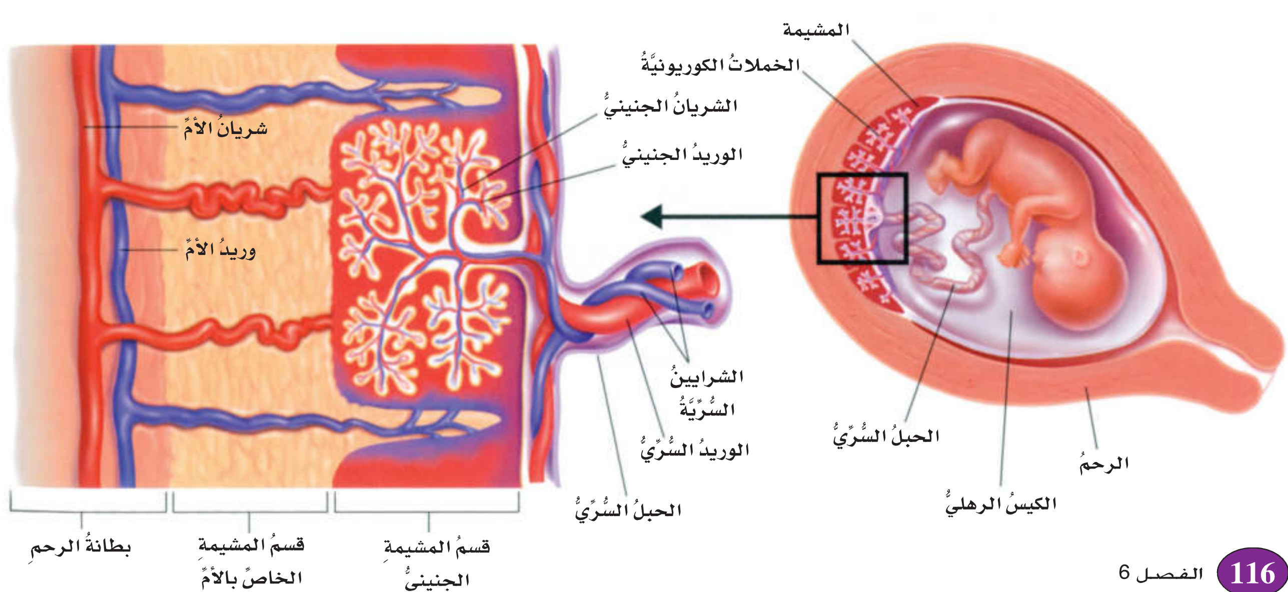
(أ) ينمو الجنينُ ويتطوَّرُ من كتلةٍ من الخلايا في جهةٍ واحدةٍ من الحوصلةِ البلاستيوليَّةِ. (ب) تتطوَّرُ الطبقاتُ المولِّدةُ الأوليَّةُ في الأسبوعِ الثالثِ من الحملِ، وتتكوَّنُ الأغشيةُ الجنينيَّةُ الأربعةُ. (ج) عند نهايةِ الشهرِ الأولِ من الحملِ، تكونُ جميعُ الأغشيةِ الجنينيَّةِ قد تكوَّنَتْ.

وتتكوَّنُ أيضًا أربعةُ أغشيةٍ تسهمُ في نموِّ الجنينِ وتطوُّرِهِ أثناءَ الثلثِ الأولِ. أحدُ هذه الأغشيةِ، واسمُهُ *الغشاءُ الرهليُّ Amnion*، يشكِّلُ **الكيسَ الرهليَّ Amniotic sac** المملوءَ بالسائلِ والمحيطَ بالجنينِ النامي.

يحيطُ السائلُ الموجودُ في الكيسِ الرهليِّ بالجنينِ ويحميهِ من الأذى ويبقيهِ رطبًا. ويشكِّلُ غشاءٌ ثانٍ *كيسَ المحِّ Yolk sac*. وكيسُ المحِّ، بالرّغمِ من أنهُ لا يحتوي على المحِّ، هو تركيبٌ مهمٌّ لأنه تنشأُ فيهِ خلايا الدمِ الأولى ويتكوَّنُ قربَ كيسِ المحِّ غشاءٌ ثالثٌ يسمّى *الممبارَ Allantois*. والغشاءُ الرابعُ هو *الكوريونُ Chorion* الذي يحيطُ بجميعِ الأغشيةِ الأخرى. وكما يظهرُ في الشكلِ 6-10، يتكوّنُ على جانبِ الكوريونِ نتوءاتٌ على هيئةِ أصابعَ صغيرةٍ تسمّى **الخَمَلاتِ الكوريونيَّةَ Chorionic villi**، وهذه تمتدُّ إلى بطانةِ الرحمِ. والأوعيةُ الدمويَّةُ الموجودةُ ضمنَ الخملاتِ الكوريونيَّةِ نشأتْ في الممبارِ. مجموعُ الخملاتِ الكوريونيَّةِ، والجزءُ الذي تمتدُّ فيهِ من بطانةِ الرحمِ، يشكِّلانِ تركيبًا متماسكًا يسمّى المشيمةَ. و**المشيمةُ Placenta** هي التركيبُ الذي من خلالِهِ تغذّي الأمُّ الجنينَ. فيمكنُ للموادِّ الغذائيّةِ والغازاتِ ومسبِّباتِ المرضِ والعقاقيرِ والموادِّ الأخرى أن تمرَّ من الأمِّ إلى الجنينِ عبرَ المشيمةِ. لذلك يجبُ على

الشكل 6-11

بعدَ مرورِ أسبوعينِ، تقريبًا، على الإخصابِ تبدأُ المشيمةُ في التكوُّنِ. تغذّي الأمُّ الجنينَ الناميَ عبرَ المشيمةِ أثناءَ الحملِ.



النساءِ أن يمتنعنَ عن استخدامِ العقاقيرِ غيرِ الضروريَّةِ طوالَ فترةِ الحملِ. فتلك العقاقيرُ يمكنُ أن تؤديَ إلى إعاقاتٍ عقليَّةٍ وجسديَّةٍ حادّة عندَ الجنينِ.

يرتبطُ الجنينُ بالمشيمةِ بواسطةِ **الحبلِ السُّرِّيِّ Umbilical cord** الذي يحتوي على الأوردةِ والشرايينِ التي تنقلُ الدمَ بينَ الجنينِ والمشيمةِ، لكنَّ دمَ الجنينِ لا يختلطُ بدمِ الأمِّ أبدًا، الشكل 6-11. يتمُّ تبادلُ الموادِّ، كالموادِّ الغذائيَّةِ والفضلاتِ، عبرَ المشيمةِ. المشيمةُ الناميةُ تبدأُ إفرازَ هرمونٍ يسمّى **الهرمونَ الكوريونيَّ المنبِّهَ للغددِ التناسليَّةِ Human chorionic gonadotropin (HCG)**، في مرحلةٍ مبكرةٍ من الأسبوعِ الثاني بعدَ الإخصابِ. هذا الهرمونُ في المراحلِ المبكرةِ للحملِ، ينبِّهُ الجسمَ الأصفرَ للاستمرارِ في إنتاجِ الهرموناتِ الجنسيَّةِ، وبالتالي يحافظُ على بطانةِ الرحمِ وعلى الجنينِ. ولولا ذلك يتوقَّفُ الجسمُ الأصفرُ عن إنتاجِ الإستروجين والبروجسترونِ، ويحدثُ المحيضُ. وتنمو المشيمةُ، وفي الوقتِ ذاتِهِ تبدأُ إفرازَ كمِّيّاتٍ كبيرةٍ من البروجسترونِ والإستروجينِ اللذَين يتحكَّمانِ في الحفاظِ على بطانةِ الرحمِ، ومنعِ إطلاقِ الهرمونِ المنبِّهِ للحوصلةِ والهرمونِ المنبِّهِ للجسمِ الأصفرِ، وفي عدمِ تحرُّرِ البييوضِ طوالَ مدَّةِ الحملِ.

يأخذُ الدماغُ والحبلُ الشوكيُّ وبقيَّةُ الجهازِ العصبيِّ في التكوُّنِ منذُ الأسبوعِ الثالثِ. ويبدأُ القلبُ النبضَ مع اليومِ 21. وعند الأسبوعِ الخامسِ تشرعُ الذراعانِ في التكوُّنِ، وكذلك الساقانِ والعينانِ والأذنانِ. وبعد ستةِ أسابيعَ، تتكوَّنُ الأصابعُ ويباشرُ الدماغُ عملَهُ، ويبدأُ الجنينُ تحرُّكَهُ أيضًا، إلاّ أن الأمَّ لا تشعرُ بحركتِهِ. عند نهايةِ الثُّلثِ الأوَّلِ يبلغُ طولُ **الجنينِ Fetus** تقريبًا 5 cm فقط، لكنَّ الأجهزةَ العضويَّةَ جميعَها تكونُ آخذةً في التكوُّنِ، كما يظهرُ في الشكل 6-12.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

الجنينُ

Fetus

من اللاتينيَّةِ fetus، وتعني «نسل/Offspring»

الثلثُ الثاني

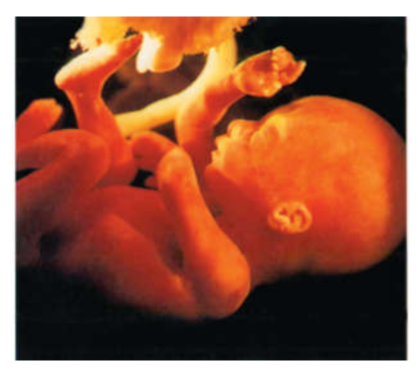
في أثناءِ الثلثِ الثاني يكبرُ رحمُ الأمِّ، ويمكنُ سماعُ نبضِ قلبِ الجنينِ، ويأخذُ هيكلُهُ العظميُّ في التكوُّنِ، وتبدأُ طبقةٌ من الشعرِ الناعمِ، المسمّى الزغبَ *Lanugo*، في النموِّ على جلدِ الجنينِ. كذلك ينامُ الجنينُ ويستيقظُ. وقد تحسُّ الأمُّ بحركةِ الجنينِ. كما يمكنُ للجنينِ أن يمصَّ إبهامَهُ، وقد يصبحُ قادرًا على القيامِ بتشكيلِ قبضتِهِ، وعلى الرفسِ وطيِّ أصابعِ قدمَيْهِ. وعند نهايةِ الثلثِ الثاني يبلغُ طولُ الجنينِ 34 cm تقريبًا، ويبلغُ وزنُهُ حواليَّ 900 جرام.

الشكل 6-12

بعدَ 12 أسبوعًا تتكوَّنُ ذراعا الجنينِ ورجلاهُ، ويظهرُ 20 برعمًا لأسنانِ المستقبلِ. وفي حلولِ الأسبوعِ 21، تتكوَّنُ الهدبُ وشعرُ الحاجبَيْنِ، وتظهرُ الأظفارُ، ويتغطّى الجلدُ بالشعرِ الناعمِ الذي يسمّى الزغبَ. وبمرورِ الشهرِ الثامنِ، تتصلَّبُ عظامُ الجنينِ، ويختفي الزغبُ، وينمو دهنُ الجسمِ.



12 أسبوعًا



21 أسبوعًا



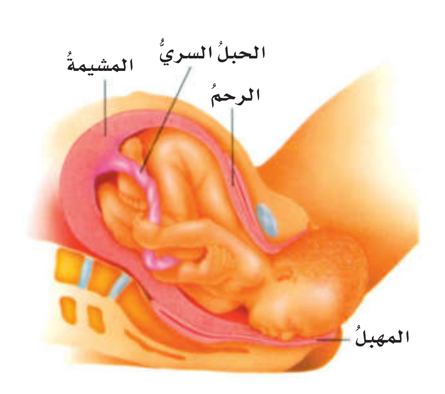
8 أشهر

الثلثُ الثالثُ

في الثلثِ الثالثِ ينمو الجنينُ بسرعةٍ، ويمرُّ في التغيُّراتِ التي ستمكِّنُهُ من العيشِ خارجَ جسمِ الأمِّ. ويمكنُ أن يستجيبَ للأصواتِ العاليةِ. في أثناءِ النصفِ الأخيرِ من هذه المرحلةِ، تترسّبُ موادُّ دهنيَّةٌ تحت جلدِ الجنينِ. هذه الرواسبُ الدهنيَّةُ، تجعلُ جلدَ الجنينِ يبدو أقلَّ تجعُّدًا، وتشكِّلُ طبقةً عازلةً تمكِّنُ الجسمَ من المحافظةِ على درجةِ حرارةٍ ثابتةٍ.

الولادةُ

تحدثُ الولادةُ بعدَ حواليَّ 270 يومًا (38 أسبوعًا) من الإخصابِ. البروستاكلاندينُ الذي تنتجُهُ الأغشيةُ الجنينيَّةُ والهرموناتُ التي يُنتِجُها جسمُ الأمِّ وجسمُ الجنينِ تطلقُ عمليَّةَ الولادةِ. ويؤدّي التركيزُ العالي للإستروجينِ والبروستاكلاندينِ والأكسيتوسينِ، والأخيرُ هرمونٌ نخاميٌّ، إلى تقلُّصِ العضلاتِ الملساءِ للرحمِ. فيتمزّقُ الكيسُ الرهليُّ ويتدفّقُ منهُ السائلُ الرهليُّ إلى الخارجِ عبرَ المهبلِ في عمليَّةٍ اسمُها «نزولُ ماءِ الرأسِ». ترتخي العضلاتُ في عُنقِ الرحمِ والمهبلِ، فيتسعُ عُنقُ الرحمِ ويتيحُ للجنينِ المرورَ. إن التقلُّصاتِ العضليَّةَ والأحداثَ الأخرى المرافقةَ التي تؤدّي إلى الولادةِ تسمّى **المخاضَ Labor** ومنها تقلُّصاتُ الرحمِ التي تدفعُ بالجنينِ، عبرَ عُنقِ الرحمِ والمهبلِ، إلى خارجِ جسمِ الأمِّ، كما يظهرُ في الشكلِ 6-13.



الشكل 6-13
أثناءَ الولادةِ، يمرُّ الجنينُ من عُنقِ الرحمِ والمهبلِ اللذَيْنِ يتسعانِ جدًّا لمرورِهِ.

إن المشيمةَ والغشاءَ الرهليَّ وبطانةَ الرحمِ معًا، واسمُها جميعًا **الخلاصُ Afterbirth**، تُطرَدُ بعد فترةٍ قليلةٍ من ولادةِ الطفلِ. وبعد الولادةِ تتمدّدُ رئتا الطفلِ المولودِ حينَ يستهلُّ التنفسَ وهو يواجهُ الحياةَ وحدَهُ لأوّلِ مرةٍ. ويُربطُ الحبلُ السُّرِّيُّ ثم يُقطعُ. وتلتئمُ الشرايينُ والأوردةُ السُّرِّيّةُ خلالَ 30 دقيقةً بعد الولادةِ. هذه التغيُّراتُ وغيرُها في أوعيةِ الطفلِ الدمويّةِ تؤدّي إلى إكمالِ الدورةِ القلبيّةِ الرئويّةِ والكلويّةِ، مما يسمحُ للطفلِ بالقيامِ بوظائفِهِ مستقلاًّ عن الأمِّ. وخلالَ وقتٍ قصيرٍ تصبحُ أجهزةُ الطفلِ التنفسيَّةُ والإخراجيَّةُ فاعلةً.

مراجعةُ القسمِ 6-3

1. كيفَ تتكوَّنُ اللاقحةُ؟
2. ما عمليّةُ الانغراسِ؟
3. كيفَ يتغذّى الجنينُ خلالَ نموِّهِ وتطوُّرِهِ؟
4. لخِّصِ التغيُّراتِ التي تطرأُ على جسمِ الأمِّ أثناءَ الحملِ.
5. ما التغيراتُ التي تطرأُ على الجنينِ في الثلثِ الثالثِ من الحملِ؟
6. لخِّصِ التغيُّراتِ التي تطرأُ على جسمِ الأمِّ أثناءَ الولادةِ.

تفكيرٌ ناقدٌ

7. ما أهمِّيَّةُ أن تتغذّى المرأةُ الحاملُ بشكلٍ صحّيٍّ وأن تتفادى الموادَّ غيرَ الصحِّيَّةِ؟
8. عندما يختلطُ دمٌ من الفصيلةِ A بدمٍ من الفصيلةِ B يحصلُ تخثُّرٌ أو تجلُّطٌ. افترضْ أنَّ أمًّا فصيلةُ دمِها A حملتْ جنينًا من فصيلةِ دمٍ B، فهل سيؤدّي هذا إلى مشكلةِ تخثُّرٍ؟ فسِّرْ إجابتَكَ.

مراجعةُ الفصل 6

ملخَّصٌ / مفرداتٌ

1-6

- التراكيبُ التي يتكوَّنُ منها الجهازُ التناسليُّ الذكريُّ هي الخصيتانِ والبربخانِ والوعاءانِ الناقلانِ والإحليلُ والقضيبُ.
- توجدُ الخصيتانِ ضمنَ كيسِ الصفَنِ حيثُ تَسْمَحُ درجةُ الحرارةِ الأقلُّ بتكوُّنِ الحيواناتِ المنويّةِ.
- يتكوَّنُ الحيوانُ المنويُّ في الأنيبباتِ المنويّةِ في الخصيتَيْنِ. يخفِّضُ الانشطارُ الاختزاليُّ عند الإنسانِ عددَ الكروموسوماتِ في الحيواناتِ المنويّةِ إلى 23.
- يتألّفُ الحيوانُ المنويُّ الناضجُ من الرأسِ الذي يحتوي على النواةِ والكروموسوماتِ، والقطعةِ الوسطى التي تحتوي على الميتوكوندريا، والذيلِ المشتملِ على السوطِ.
- تسلكُ الحيواناتُ المنويّةُ وهي تغادرُ الجسمَ المسارَ التاليَ: الأنيبباتِ المنويّةَ في الخصيتَيْنِ ← البربخَ ← الوعاءَ الناقلَ ← الإحليلَ.
- تختلطُ السوائلُ التي تفرزُها الغددُ القنويّةُ المختلفةُ بالحيواناتِ المنويةِ لإنتاجِ السائلِ المنويِّ.

مفردات

الأنيبيباتُ المنويّةُ Seminiferous tubules (107)
البربخُ Epididymis (108)
الحويصلةُ المنويّةُ Seminal vesicle (109)
الخصيةُ Testis (107)
السائلُ المنويُّ Semen (109)
غدّةُ البروستات Prostate gland (109)
غدةُ كوبر Cowper's gland (109)
القذفُ Ejaculation (109)
القضيبُ Penis (109)
كيسُ الصفَنِ Scrotum (107)
الوعاءُ الناقلُ Vas deferens (108)

2-6

- التراكيبُ التي يتكوَّنُ منها الجهازُ التناسليُّ الأنثويُّ هي المبيضانِ وقناتا فالوب والرحمُ وعنقُ الرحمِ والمهبلُ.
- تتكوّنُ البيوضُ في المبيضَيْنِ. يخفِّضُ الانشطارُ الاختزاليُّ عددَ الكروموسوماتِ في البيضةِ إلى 23. البيضةُ أكبرُ بحوالَيْ 75,000 مرةٍ من الحيوانِ المنويِّ.
- عندَ سنِّ البلوغِ، تحدثُ دورتا المبيضِ والحيضِ كلَّ 28 يومًا تقريبًا.
- تشتملُ دورةُ المبيضِ على ثلاثِ مراحلَ هي، طورُ الحوصلةِ، والإباضةُ، وطورُ الجسمِ الأصفرِ.
- في طورِ الحوصلةِ، الهرمونُ المنبِّهُ للحوصلةِ يسببُ لها النموَّ. يُنتِجُ المبيضُ الإستروجينَ الذي يؤدّي إلى نضجِ البيضةِ وبناءِ بطانةِ الرحمِ.
- تحدثُ الإباضةُ في منتصفِ دورةِ المبيضِ عندما يسبِّبُ الهرمونُ المنبِّهُ للجسمِ الأصفرِ انفجارَ الحوصلةِ وتحريرَ البيضةِ.
- في طورِ الجسمِ الأصفرِ، تتحوَّلُ الحوصلةُ إلى الجسمِ الأصفرِ. يفرزُ الجسمُ الأصفرُ البروجسترونَ الذي يسبِّبُ زيادةَ سمكِ بطانةِ الرحمِ.
- يحدثُ المحيضُ في نهايةِ دورةِ الحيضِ عندما يتوقَّفُ الجسمُ الأصفرُ عن إفرازِ الهرموناتِ.

مفردات

الإباضةُ Ovulation (112)
البيضةُ الناضجةُ Ovum (111)
الجسمُ الأصفرُ Corpus luteum (113)
الحوصلةُ Follicle (112)
دورةُ الحيضِ Menstrual cycle (112)
دورةُ المبيضِ Ovarian cycle (112)
الرَحِمُ Uterus (110)
سنُّ اليأسِ Menopause (113)
طورُ الجسمِ الأصفرِ Luteal phase (113)
طورُ الحوصلةِ Follicular phase (112)
عنقُ الرحمِ Cervix ((111)
قناةُ فالوب Fallopian tube (110)
المبيضُ Ovary (110)
المحيضُ Menstruation (113)
المهبلُ Vagina (111)

3-6

- يحدثُ الإخصابُ في قناةِ فالوب. يبدأُ الحملُ عندما تغرسُ الحوصلةُ البلاستيوليَّةُ في بطانةِ الرحمِ.
- تتكوَّنُ الطبقاتُ المولِّدةُ الأوليَّةُ: الطبقةُ الخارجيَّةُ والطبقةُ الوسطى والطبقةُ الداخليَّةُ، في وقتٍ مبكرٍ من نموِّ الجنينِ وتطوُّرِهِ، كما تتكوَّنُ أربعةُ أغشيةٍ، هي الغشاءُ الرهليُّ والمِمبارُ وكيسُ المحِّ والكوريونُ.
- تمرُّ الموادُّ الغذائيَّةُ والغازاتُ والموادُّ الأخرى من دمِ الأمِّ إلى الجنينِ عبرَ المشيمةِ بواسطةِ الانتشارِ.
- يمكنُ أن يؤثِّرَ استخدامُ العقاقيرِ غيرِ الضروريَّةِ سلبيًّا في جسمِ الجنينِ.
- أثناءَ الولادةِ تدفعُ تقلُّصاتُ الرحمِ التي يسببُها البروستاكلاندينُ والأكسيتوسينُ بالطفلِ من جسمِ الأمِّ إلى الخارجِ عبرَ المهبلِ.

مفردات

الانغراسُ Implantation (115)
التفلُّجُ Cleavage (114)
التوتةُ Morula (115)
الجنينُ Fetus (117)
الحبلُ السُّرّيُّ Umbilical cord (117)
الحملُ Gestation (Pregnancy) (115)
الحوصلةُ البلاستيوليَّةُ Blastocyst (115)
الخملةُ الكوريونيَّةُ Chorionic villus (116)
الخلاصُ Afterbirth (118)
الكيسُ الرهليُّ Amniotic sac (116)
المخاضُ Labor (118)
المشيمةُ Placenta (116)
الهرمونُ الكوريونيُّ المنبِّهُ للغددِ التناسليَّةِ Human chorionic gonadotropin (117)

مراجعةٌ

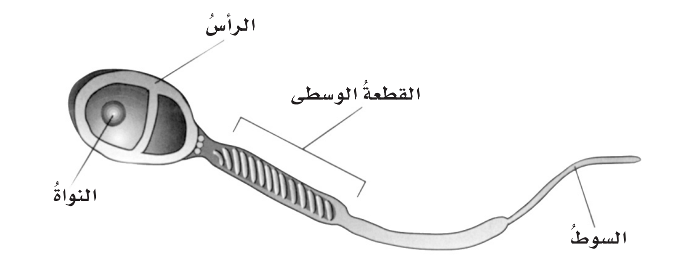
مفرداتٌ

1. سمِّ العضوَ الذكريَّ والعضوَ الأنثويَّ اللذَين ينتجانِ الأمشاجَ.
2. ما الفرقُ بين السائلِ المنويِّ والحيوانِ المنويِّ؟
3. ما العلاقةُ بين المفاهيمِ التاليةِ: دورةِ الحيضِ والمحيضِ وسنِّ اليأسِ.

اختيارٌ من مُتعدِّدٍ

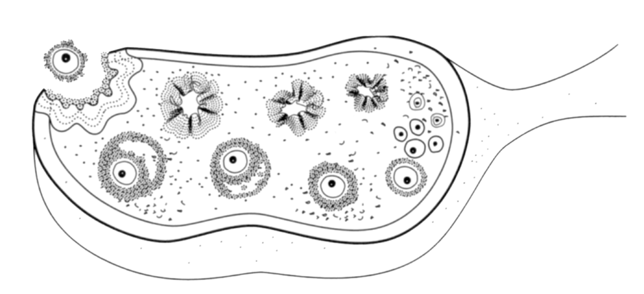
4. أيٌّ من التالي هو المسارُ الصحيحُ لحيوانٍ منويٍّ أثناءَ مغادرتِهِ الجسمَ؟
   - أ. من الخصيتينِ إلى القضيبِ إلى البربخِ.
   - ب. من الإحليلِ إلى الوعاءِ الناقلِ إلى الخصيتَينِ.
   - ج. من البربخِ إلى الوعاءِ الناقلِ إلى الإحليلِ.
   - د. من الخصيتَينِ إلى الوعاءِ الناقلِ إلى البربخِ.
5. أيٌّ من التالي يصحُّ بشأنِ الهرمونِ المنبِّهِ للحوصلةِ؟
   - أ. تفرزُهُ الحَوْصَلةُ.
   - ب. تُفرزُهُ الغدَّةُ النخاميَّةُ.
   - ج. ينبِّهُ تقلُّصاتِ الرحمِ.
   - د. يحفِّزُ نشوءَ المشيمةِ.
6. أيٌّ من التالي يسهمُ في تكوينِ المشيمةِ والحبلِ السُّرِّيِّ؟
   - أ. الغشاءُ الرهليُّ والكوريونُ.
   - ب. الغشاءُ الرهليُّ وكيسُ المحِّ.
   - ج. الكوريونُ وكيسُ المحِّ.
   - د. الكوريونُ والممبارُ.
7. عند نهايةِ الثلثِ الأولِ من الحملِ، أيٌّ من التالي يكونُ قد حدثَ عند الجنينِ؟
   - أ. يصبحُ شعرُ رأسِ الجنينِ تامًّا.
   - ب. يستخدمُ الجنينُ رئتَيْهِ للتنفُّسِ.
   - ج. يتكوّنُ دماغُ الجنينِ بشكلٍ تامٍّ.
   - د. تكونُ جميعُ أعضاءِ الجنينِ قد بدأتْ تتكوّنُ.

لاحظِ الرسمَ التخطيطيَّ التاليَ للحيوانِ المنويِّ، لتجيبَ عن السؤالين 8 و 9.



8. توجدُ الأنزيماتُ التي تساعدُ الحيوانَ المنويَّ على اختراقِ البيضةِ في:
   - أ. الرأسِ.
   - ب. النواةِ.
   - ج. القطعةِ الوسطى.
   - د. السوطِ.
9. توجدُ الميتوكوندريا التي تزوِّدُ الحيوانُ المنويُّ بالطاقةِ التي يحتاجُ إليها للحركةِ في:
   - أ. الرأسِ.
   - ب. النواةِ.
   - ج. القطعةِ الوسطى.
   - د. السوطِ.
10. الخصيةُ : المبيضُ ؛ الوعاءُ الناقلُ:
    - أ. الحيوانُ المنويُّ.
    - ب. الإحليلُ.
    - ج. قناةُ فالوب.
    - د. غدَّةُ البروستاتِ.

استخدمْ هذا الرسمَ التخطيطيَّ للمبيضِ لتجيبَ عن السؤالِ التالي:



11. ما الحدثُ الذي يوضحُهُ الرسمُ التخطيطيُّ؟
    - أ. الإباضةُ.
    - ب. القذفُ.
    - ج. الإخصابُ.
    - د. الحيضُ.

إجابةٌ قصيرةٌ

12. ما اسمُ الكيسِ الجلديِّ الذي يحيطُ بالخصيتينِ؟
13. كيفَ يتكوّنُ السائلُ المنويُّ؟
14. صفْ تركيبَ حيوانٍ منويٍّ ناضجٍ عندَ إنسانٍ بالغٍ.
15. ما المسارُ الذي تسلكُهُ الحيواناتُ المنويّةُ قبلَ مغادرتِها الجسمَ؟
16. اذكرْ أربعةَ أجزاءٍ رئيسةٍ من الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ.

17. ما وظيفةُ الرحمِ؟
18. أينَ تتكوّنُ البيوضُ؟
19. قارنْ بينَ تكوينِ البيوضِ وتكوينِ الحيواناتِ المنويّةِ.
20. في أيِّ وقتٍ من دورةِ المبيضِ يمكنُ أن يحدثَ الإخصابُ؟
21. ما الذي لا يحدثُ في دورةِ الحيضِ إذا تمَّ الانغراسُ؟
22. وضِّحْ كيفَ يخترقُ الحيوانُ المنويُّ البيضةَ أثناءَ الإخصابِ.
23. وضِّحْ عمليتَي التفلجِ والانغراسِ.
24. ناقشْ كيفَ يحصلُ الجنينُ النامي على غذائِهِ.
25. لخِّصْ تأثيراتِ استخدامِ العقاقيرِ غيرِ الضروريةِ في نموِّ الجنينِ وتطوُّرِهِ.
26. لخِّصْ أحداثَ نموِّ وتطوُّرِ الجنينِ خلالَ الثلثِ الثاني من فترةِ الحملِ.
27. ما التغيُّراتُ التي تطرأُ على عنقِ الرحمِ أثناءَ الولادةِ؟
28. الحيوانُ المنويُّ قادرٌ على البقاءِ حيًّا حواليَ 48 ساعةً داخلَ الجهازِ التناسليِّ للأنثى بالرغمِ من أن لديهِ القليلَ جدًّا من السيتوبلازمِ لتزويدِهِ بالموادِّ الغذائيّةِ. وضِّحْ لماذا، في رأيكَ، يمكنُ أن يعيشَ الحيوانُ المنويُّ على القليلِ من الموادِّ الغذائيّةِ.
29. استخدمْ هذه المفرداتِ لتضعَ خريطةَ مفاهيمَ توضحُ دورتَي المبيضِ والحيضِ: الجسمُ الأصفرُ، الإستروجينُ، الحوصلةُ، الهرموناتُ، طورُ الحوصلةِ، دورةُ الحيضِ، طورُ الجسمِ الأصفرِ، دورةُ المبيضِ، الإباضةُ، البويضةُ، البروجسترونُ، الرحمُ.

تفكيرٌ ناقدٌ

1. في اعتقادِكَ، ماذا سيحدثُ لو أن أكثرَ من حيوانٍ منويٍّ واحدٍ اجتازَ غشاءَ بيضةٍ واحدةٍ؟
2. تنتجُ المرأةُ بيضةً ناضجةً واحدةً كلَّ 28 يومًا، بينما تضعُ أنثى السلمون 50 مليونَ بيضةٍ في كلِّ مرةٍ تبيضُ فيها. ضعْ فرضيَّةً تفسِّرُ لماذا يوجدُ هذا الاختلافُ الكبيرُ في إنتاجِ البيوضِ بينَ هذينِ النوعَينِ.
3. إن النساءَ اللواتي يدخِّنَّ التبغَ ويستخدمنَ العقاقيرَ غيرَ الضروريّةِ أو الموادَّ المؤذيةَ خلالَ فترةِ الحملِ يهدِّدُهُنَّ خطرُ إنجابِ أطفالٍ يشكونَ من عيوبٍ وإعاقاتٍ في التعلُّمِ. فسِّرْ لماذا.
4. ماذا يفعلُ هذا الجنينُ الظاهرُ في الصورةِ الفوتوغرافيَّةِ؟ ما الفائدةُ من تعوُّدِ هذا النوعِ من العملِ؟



توسيعُ آفاقِ التفكيرِ

خلالَ الخمسينيّاتِ، وُصفَ لعددٍ من النساءِ الحواملِ دواءُ الثاليدومايدِ، للتخفيفِ من غثَيانِ الصباحِ. هؤلاءِ النساءُ أنجبنَ أطفالاً بعيوبٍ خطيرةٍ في الأطرافِ. فاكتشفَ العلماءُ لاحقًا أن الثاليدومايد هو الذي سبَّبَ عيوبَ الأطرافِ لدى أولادِ هؤلاءِ النساءِ.

1. هل تعتقدُ أنهُ أأمنُ لامرأةٍ أن تأخذَ الثاليدومايد أثناءَ الثُّلثَيْنِ الأولَيْنِ من حملِها؟ وضِّحْ جوابَكَ.
2. هلْ تعتقدُ أنهُ أأمنُ لامرأةٍ أن تأخذَ الثاليدومايدَ أثناءَ الثلثِ الثالثِ من حملِها؟ وضِّحْ جوابَكَ.

الوَحْدةُ 2

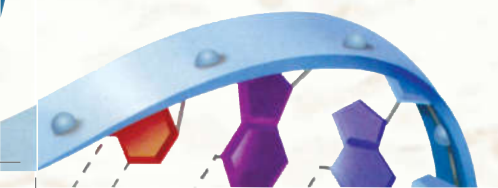
علمُ الوراثةِ والتقنيَّةُ الحيويَّةُ

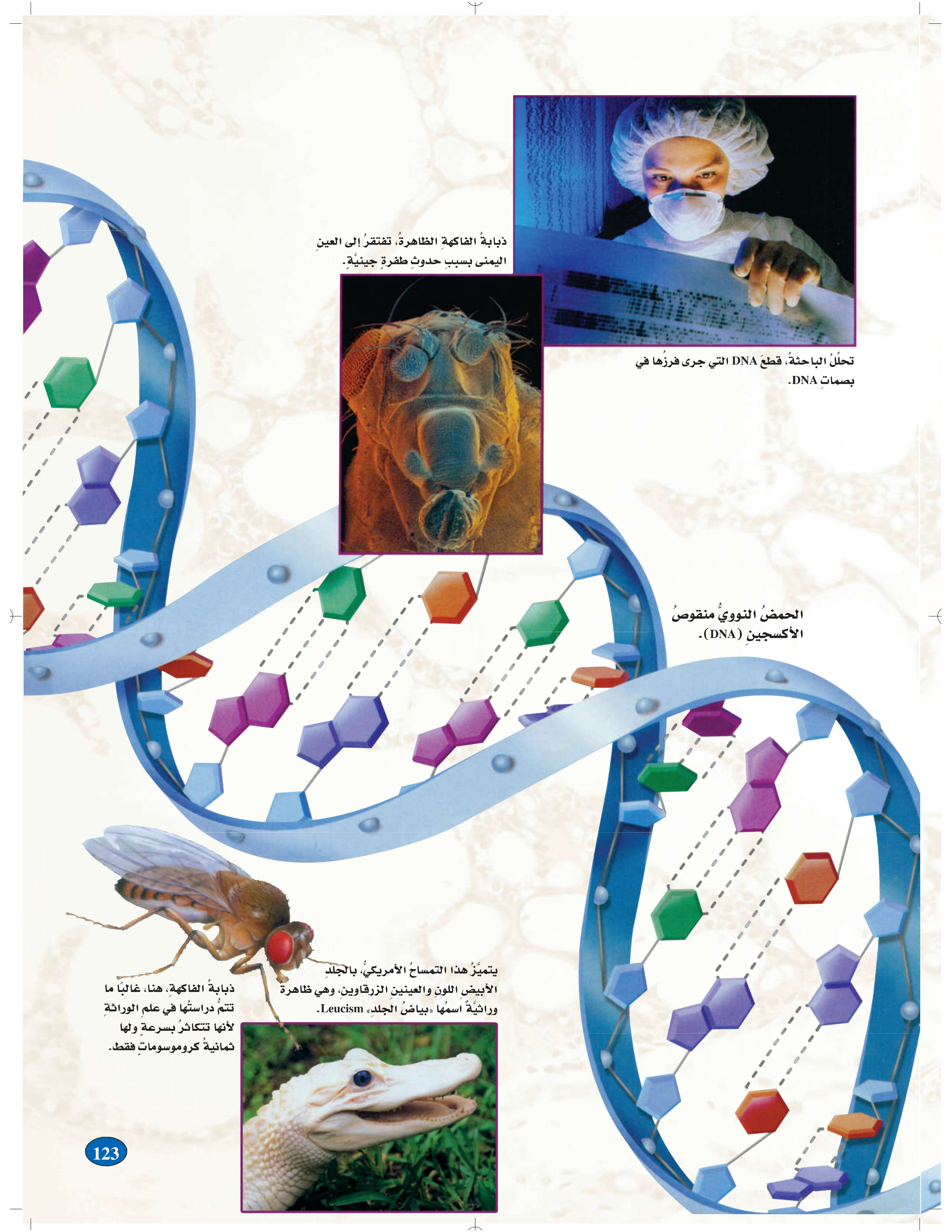
الفصول

7 أسسُ علمِ الوراثةِ
8 الأحماضُ النوويّة RNA وDNA وبناءُ البروتيناتِ
9 أنماطُ التوارثِ وعلمُ الوراثةِ عند الإنسانِ
10 تقنيَّةُ الجيناتِ



هذهِ النمورُ يشبهُ بعضُها بعضًا، لأنها ترثُ صفاتِ آبائِها.





ذبابةُ الفاكهةِ الظاهرةُ، تفتقرُ إلى العينِ اليمنى بسببِ حدوثِ طفرةٍ جينيَّةٍ.

تحلّلُ الباحثةُ، قطعَ DNA التي جرى فرزُها في بصماتِ DNA.

الحمضُ النوويُّ منقوصُ الأكسجينِ (DNA).

يتميَّزُ هذا التمساحُ الأمريكيُّ، بالجلدِ الأبيضِ اللونِ والعينينِ الزرقاوينِ، وهي ظاهرةٌ وراثيَّةٌ اسمُها «بياضُ الجلدِ» Leucism.

ذبابةُ الفاكهةِ، هنا، غالبًا ما تتمُّ دراستُها في علمِ الوراثةِ لأنها تتكاثرُ بسرعةٍ ولها ثمانيةُ كروموسوماتٍ فقط.

الفصـــل 7

أسسُ علمِ الوراثةِ



المظهرُ الفريدُ لهذا التمساحِ الأمريكيِّ ذي الجلدِ الأبيضِ والعينينِ الزرقاوينِ ناتجٌ عن عاملٍ وراثيٍّ.

1-7 أعمالُ مندل

2-7 التزاوجاتُ الوراثيّةُ

المفهومُ الرئيسُ التكاثرُ والتوارثُ

وأنتَ تقرأُ لاحظْ كيفَ طوَّرَ مندل فرضيّاتِهِ للمساعدةِ على توقُّعِ نتائجِ التزاوجاتِ المختلفةِ.

القسم

1-7

النواتج التعليمية

▲ يصفُ طرقَ التلقيحِ التي أجراها مندل في نباتِ البازلاّءِ.

● يصفُ خطواتِ تجاربِ مندل التي أجراها على نباتاتِ البازلاّءِ النقيَّةِ السلالةِ.

■ يميِّزُ بين السماتِ السائدةِ والسماتِ المتنحِّيةِ.

◆ يصوغُ بكلماتِهِ نصَّ قانونَيْ مندل في الوراثةِ.

▲ يفسِّرُ نتائجَ تجاربِ مندل في ضوءِ نظريّةِ الجيناتِ والكروموسوماتِ.

أعمالُ مندل

علمُ الوراثةِ Genetics هو فرعٌ من فروعِ علمِ الأحياءِ يبحثُ في كيفيَّةِ انتقالِ الصفاتِ من الآباءِ إلى الأبناءِ. تأسَّسَ علمُ الوراثةِ مع أعمالِ *كريكور مندل Gregor Mendel*. هذا القسمُ يصفُ تجاربَ مندل ومبادئَ علمِ الوراثةِ التي نتجتْ عنها.

كريكور مندل

أجرى كريكور مندل، الظاهرُ في الشكلِ 7-1، تجاربَ على نباتِ بازلاءِ الحدائقِ. وفي عامِ 1851، دخلَ جامعةَ فيينّا University of Vienna لدراسةِ العلومِ والرياضيّاتِ. كانت مقرَّراتُ مادّةِ الرياضيّاتِ التي تابعَها تشتملُ على تدريبٍ في علمِ الإحصاءِ، وكان علمًا حديثَ العهدِ آنذاكَ. ولاحقًا تبيَّنَ، أن معرفةَ مندل بعلمِ الإحصاءِ، كانت مفيدةً جدًّا لأبحاثِهِ في مجالِ **الوراثةِ Heredity**، أي انتقالِ الصفاتِ من الآباءِ إلى الأبناءِ. درّسَ في مدرسةٍ ثانويّةٍ، واحتفظَ لنفسِهِ بمساحةٍ من الحديقةِ، حيث قامَ بدراسةِ العديدِ من النباتاتِ، لكن اسمَهُ ارتبطَ فقط بتجاربِهِ على نوعٍ محدَّدٍ من *بازلاّءِ الحدائقِ Pisum sativum*.

مندل وبازلاءُ الحدائقِ

لاحظَ مندل سبعَ صفاتٍ تحملُها نباتاتُ البازلاءِ. والصفةُ كلونِ الزهرةِ مثلاً هي مظهرٌ قابلٌ للتوارثِ. ولكلِّ صفةٍ اختارَها مندل سمتانِ متضادَّتانِ. و**السمةُ Trait** شكلٌ مغايرٌ من أشكالِ الصفةِ محدَّدٌ جينيًّا. فاللونُ الأرجوانيُّ، مثلاً، من سماتِ لونِ الزهرةِ. والصفاتُ التي درسَها مندل هي طولُ النباتاتِ (السمتانِ: طويلٌ أو قصيرٌ)، وموقعُ الزهرةِ على الساقِ (السمتانِ: محوريٌّ أو طرفيٌّ)، ولونُ قرنِ البازلاّءِ، (السمتانِ: أخضرُ أو أصفرُ)، وشكلُ القرنِ (السمتانِ: منتفخٌ أو متخصِّرٌ)، وملمسُ البذرةِ (السمتانِ: أملسُ أو أجعدُ)، ولونُ البذرةِ (السمتانِ: أصفرُ أو أخضرُ)، ولونُ الزهرةِ (السمتانِ: أرجواني أو أبيضُ). استخدمَ مندل معرفتَهُ في علمِ الإحصاءِ لتحليلِ ملاحظاتِهِ لتلكَ الصفاتِ السبعِ.



الشكل 7-1
عاشَ كريكور مندل من عام 1822 إلى عام 1884. وأدَّتْ التجاربُ التي أجراها على بازلاءِ الحدائقِ إلى اكتشافِهِ للمبادئِ الأساسيَّةِ لعلمِ الوراثةِ.



الشكل 7-2
تحكّمَ مندل في تلقيحِ نباتِ البازلاّء، وتعقَّبَ توارثَ سماتِه عن طريقِ نقلِ حبوبِ اللقاحِ من متوكِ نباتٍ إلى ميسمِ نباتٍ آخر.

جمعَ مندل البذورَ من نباتاتِ البازلاّءِ، ودوّنَ بعنايةٍ سماتِ النباتاتِ، وسماتِ بذورِها. وفي الموسمِ التالي زرعَ البذورَ، فلاحظَ أن معظمَ البذورِ التي جُمِعتْ من النباتاتِ ذاتِ الأزهارِ الأرجوانيَّةِ أعطتْ أزهارًا أرجوانيَّةً، كما نشأَ عن بعضِ هذه البذورِ نباتاتٌ ذاتُ أزهارٍ بيضاءَ. وعندما أجرى تجاربَ على صفةِ طولِ النباتِ، لاحظَ أن نباتاتٍ طويلةً نشأتْ عن معظمِ البذورِ التي جمعتْ من النباتاتِ الطويلة، كما نشأَ عن بعضِ هذه البذورِ نباتاتٌ قصيرةٌ. فأرادَ مندل إيجادَ تفسيرٍ لهذه النتائجِ.

طرائقُ مندل في تلقيحِ نباتِ البازلاّءِ

استطاعَ مندل ملاحظةَ كيفيَّةِ انتقالِ السماتِ من جيلٍ إلى جيلٍ تالٍ، بتحكُّمِه الدقيقِ في كيفيَّةِ حدوثِ التلقيحِ عند نباتاتِ البازلاّءِ. يتمُّ **التلقيحُ Pollination** عندما تنتقلُ حبوبُ اللقاحِ التي تُنتَجُ في الأجزاءِ التكاثريّةِ الذكريّةِ من الزهرةِ، أي *المتوكِ Anthers*، إلى *الميسمِ Stigma* في الأجزاءِ التكاثريّةِ الأنثويّةِ.

يحدثُ **التلقيحُ الذاتيُّ Self-pollination**، عندما تنتقلُ حبوبُ اللقاحِ من متوكِ زهرةٍ إلى ميسمِ الزهرةِ نفسِها أو ميسمِ زهرةٍ أخرى من أزهارِ النباتِ نفسِه. بينما يتمُّ **التلقيحُ الخلطيُّ Cross-pollination** بين أزهارٍ من نباتينِ منفصلَيْنِ. ونباتاتُ البازلاءِ تتكاثرُ عادةً عن طريقِ التلقيحِ الذاتيِّ.

يمكنُ منعُ التلقيحِ الذاتيِّ بإزالةِ متوكِ أزهارِ نباتٍ معيَّنٍ. بعد ذلك يمكنُ إجراءُ عمليةِ التلقيحِ الخلطيِّ، يدويًّا، عن طريقِ نقلِ حبوبِ اللقاحِ من زهرةِ نباتٍ آخر إلى ميسمِ الزهرةِ التي أزيلتْ متوكُها، كما في الشكلِ 7-2. وبمنعِ حدوثِ التلقيحِ الذاتيِّ والقيامِ بالتلقيحِ الخلطيِّ اليدويِّ، استطاعَ مندل أن يختارَ نباتاتٍ أبويّةً ذاتَ سماتٍ محدَّدةٍ، ولاحظَ أن هذه السماتِ قد ظهرتْ عند أبنائِها.

تجاربُ مندل

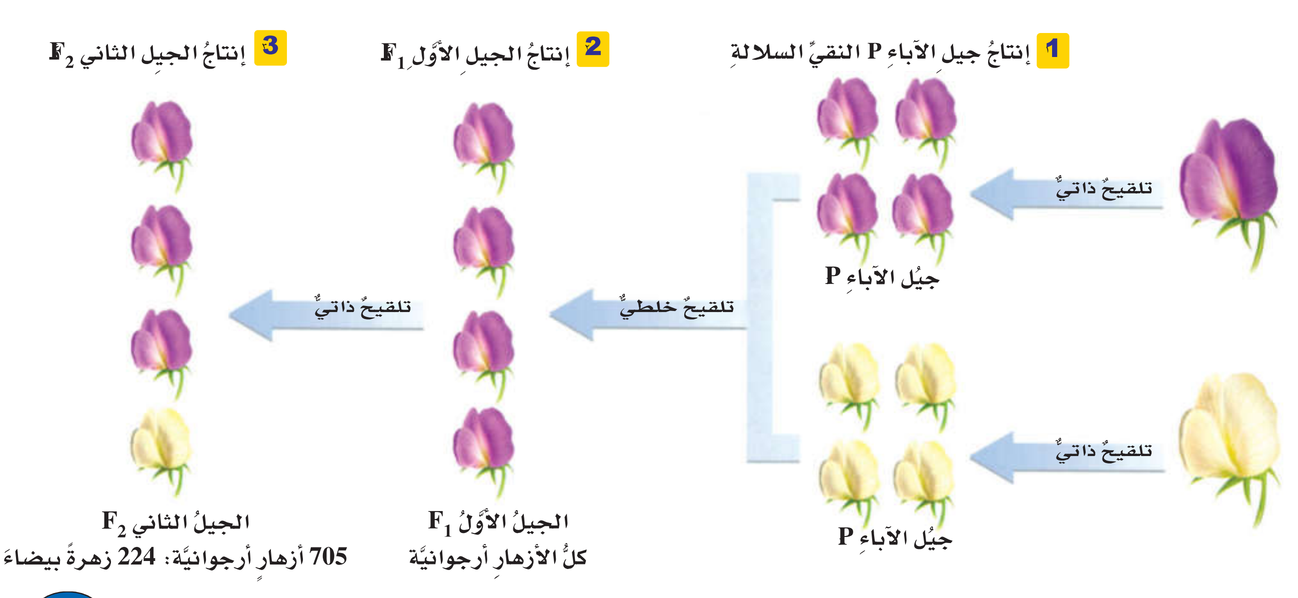
قامَ مندل، بدايةً، بدراسةِ كلِّ صفةٍ على حدةٍ مع سماتِها المتضادَّةِ. بدأ تجاربَهُ بزراعةِ نباتاتِ بازلاّءَ ذاتِ سماتٍ نقيّةِ السلالةِ. فالنباتاتُ **النقيَّةُ السلالة True-breeding**، تنتجُ دائمًا أبناءً لها تلكَ السمةُ، عند التلقيحِ الذاتيِّ. مثلاً، تُنتجُ نباتاتُ البازلاّءِ النقيّةُ السلالةِ ذاتُ القرونِ الصفراءِ، عند تلقيحِها ذاتيًّا، نباتاتٍ ذاتَ قرونٍ صفراءَ. وعن طريقِ التلقيحِ الذاتيِّ للنباتاتِ لأجيالٍ عدّةٍ، أنتجَ مندل سلالاتٍ نقيّةً كما في الشكلِ 7-3. وفي النهايةِ حصلَ على 14 صنفًا من النباتاتِ النقيَّةِ السلالةِ، صنفٌ واحدٌ للسمةِ الواحدةِ من السماتِ الأربعَ عَشْرةَ.

أجرى مندل تلقيحًا خلطيًّا بين أزواجٍ من نباتاتٍ نقيّةِ السلالةِ لصفةٍ ذاتِ سمتينِ متضادّتيْنِ. وأطلقَ اسمَ **جيلِ الآباءِ P generation** على أبوَيِ السلالةِ النقيّةِ. ثم أجرى تلقيحًا خلطيًّا لهذه النباتاتِ بنقلِ حبوبِ اللقاحِ من متوكِ نباتٍ إلى ميسمِ نباتٍ آخر. على سبيلِ المثالِ، عندما أرادَ أن يزاوجَ بين نباتٍ نقيِّ السلالةِ لسمةِ القرونِ الصفراءِ، ونباتٍ نقيِّ السلالةِ لسمةِ القرونِ الخضراءِ، أزالَ أوّلاً متوكَ النباتاتِ ذاتِ القرونِ الخضراءِ ونقلَ حبوبَ اللقاحِ من ذاتِ القرونِ الصفراءِ إلى مياسمِ ذاتِ القرونِ الخضراءِ لتنموَ البذورُ وتتطوّرَ.

وعند نضجِ النباتاتِ، دوّنَ مندل عددَ نباتاتِ كلِّ نوعٍ من النباتاتِ التي نتجتْ من كلِّ عمليّةِ تزاوجٍ، وأطلقَ عليها اسمَ **الجيلِ الأوّلِ** F_1، **F_1 generation**. بعدها تركَ أزهارَ الجيلِ الأوّلِ F_1 تتلقحُ ذاتيًّا، ثم جمعَ منها البذورَ وعند زراعتِها أنتجتْ جيلَ نباتاتٍ أطلقَ عليهِ مندل اسمَ **الجيلِ الثاني** F_2، **F_2 generation**. وباتِّباعِ هذه العمليَّةِ، نفّذَ مندل مئاتِ التزاوجاتِ، وسجّلَ نتائجَ كلِّ عمليّةِ تزاوجٍ عن طريقِ عدِّ وتسجيلِ السماتِ التي لاحظَها في كلِّ تزاوجٍ. الجدولُ 7-1 يُلخِّصُ نتائجَ عددٍ من التزاوجاتِ التي نفّذَها مندل.

الشكل 7-3
أجرى مندل التزاوجَ لعدّةِ أجيالٍ بين نباتاتٍ تحملُ سماتٍ محدَّدةً نقيَّةَ السلالةِ. أطلقَ على هذه النباتاتِ اسمَ جيلِ الآباءِ. بعدها لاحظَ انتقالَ هذه السماتِ المحدَّدةِ عبر أجيالٍ متتاليةٍ.

الخطواتُ الثلاثُ لتجاربِ مندل



الجدول 7-1 التزاوجاتُ التي أجراها مندل ونتائجُها

الصفةُ	الآباءُ	الجيلُ الأوَّلُ (F_1)	الجيلُ الثاني (F_2)	النسبةُ الحقيقيَّةُ	النسبةُ المتوقَّعة
موقعُ الزهرةِ	محوريٌّ × طرفيٌّ	محوريٌّ	651 محوريٌّ 207 طرفيٌّ	1: 3.14	1:3
طولُ النباتِ	طويلٌ × قصيرٌ	طويلٌ	787 طويلٌ 277 قصيرٌ	1:2.84	1:3
شكلُ القرنِ	منتفخٌ × متخصِّرٌ	منتفخٌ	882 منتفخٌ 299 متخصِّرٌ	1:2.95	1:3
لونُ القرنِ	أخضرُ × أصفرُ	أخضرُ	428 أخضرُ 152 أصفرُ	1:2.82	1:3
ملمسُ البذرةِ	أملسُ × مجعّدٌ	أملسُ	5,474 أملسُ 1,850 مجعّدٌ	1:2.96	1:3
لونُ البذرةِ	أصفرُ × أخضرُ	أصفرُ	6,022 أصفرُ 2,001 أخضرُ	1:3.01	1:3
لونُ الزهرةِ	أرجوانيٌّ × أبيضُ	أرجوانيٌّ	705 أرجوانيٌّ 224 أبيضُ	1:3.15	1:3

نتائجُ تجاربِ مندل واستنتاجاتُهُ

في إحدى تجاربِهِ، لقَّحَ مندل نباتًا نقيَّ السلالةِ يحملُ سمةَ القرونِ الخضراءِ بنباتٍ نقيِّ السلالةِ يحملُ سمةَ القرونِ الصفراءِ، كما في الشكل 7-4. فأعطتِ البذورُ الناتجةُ عن ذلك التلقيحِ الجيلَ الأوَّلَ F_1 من النباتاتِ ذاتِ القرونِ الخضراءِ فقط. ولم تظهرْ أيُّ قرونٍ صفراءَ بالرغمِ من أن أحدَ الأبوينِ كانَ نقيَّ السلالةِ ويحملُ سمةَ القرونِ الصفراءِ. ظهرتْ إذن سمةٌ واحدةٌ فقط من أصلِ سمتَيْ جيلِ الآباءِ في الجيلِ الأولِ F_1.

بعد ذلك تركَ مندل نباتاتِ الجيلِ الأوَّلِ تتلقَّحُ ذاتيًّا، وزرعَ البذورَ الناتجةَ فنتجتْ نباتاتُ الجيلِ الثاني F_2. لاحظَ أن ثلاثةَ أرباعِ نباتاتِ الجيلِ الثاني F_2 كانت ذاتَ قرونٍ خضراءَ وحوالي ربعِها كان ذا قرونٍ صفراءَ.

الملاحظاتُ التي أجراها مندل والبياناتُ التي دوَّنَها كخلاصةٍ لتجاربِهِ، قادتْهُ إلى وضع فرضيَّةٍ تقولُ بأنه يوجدُ داخلَ نباتاتِ البازلاَّءِ وسائلُ للتحكُّمِ في الصفاتِ وسمّاها عواملَ *Factors*، وأن كلَّ سمةٍ يتمُّ توريثُها بواسطةِ عاملٍ من العواملِ مستقلٍّ بذاتِهِ. وبما أن كلَّ سمةٍ هي ذاتُ نمطينِ بديلينِ، توصَّلَ، مندل منطقيًّا، إلى أن كلَّ صفةٍ يتحكّمُ فيها عاملانِ وراثيّانِ.

السماتُ السائدةُ والسماتُ المتنحّيةُ

كان مندل كلَّما زاوجَ بين سلالتينِ، اختفتْ إحدى سماتِ الآباءِ في نباتاتِ الجيلِ الأولِ F_1. في كلِّ مرّةٍ كانت تلك السمةُ تعودُ لتظهرَ بنسبةِ 3:1 في الجيلِ الثاني F_2. برزَ هذا النمطُ في آلافٍ من عمليّاتِ التزاوجِ، مما جعلَ مندل يستنتجُ أن عاملاً واحدًا من زوجَيِ العواملِ يمنعُ العاملَ الثانيَ من أن يكونَ مؤثِّرًا. فوضعَ مندل فرضيَّةً تقولُ بأن السمةَ الظاهرةَ في الجيلِ الأولِ F_1 كانت خاضعةً لتحكُّمِ عاملٍ **سائدٍ Dominant**، لأن هذا العاملَ حجبَ تأثيرَ العاملِ الآخرِ. أما السمةُ التي لم تظهرْ في الجيلِ الأوَّلِ F_1، وعادتْ إلى الظهورِ في الجيلِ الثاني F_2، فقد افترضَ مندل أنه يتمُّ التحكُّمُ فيها بواسطةِ عاملٍ **متنحٍّ Recessive**.

وهكذا، لا يكونُ للسمةِ التي يتحكَّمُ فيها عاملٌ متنحٍّ أيُّ أثرٍ ظاهرٍ في المظهرِ الخارجيِّ لكائنٍ حيٍّ يتحكَّمُ فيه عاملٌ سائدٌ.

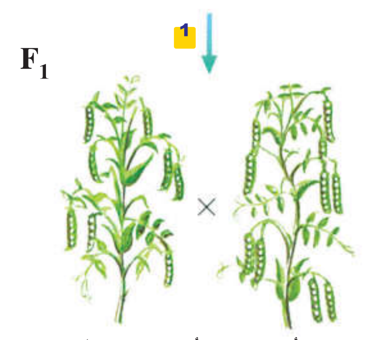
قانونُ الانعزالِ

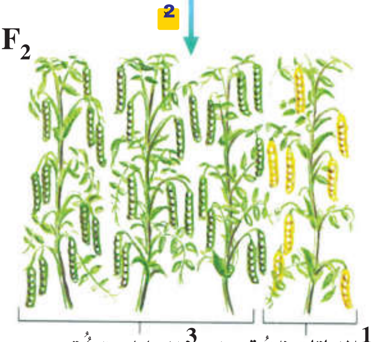
استنتجَ مندل أن العاملينِ الوراثيَّينِ لكلِّ صفةٍ ينفصلانِ الواحدُ عن الآخرِ أثناءَ تكوينِ الأمشاجِ، فيحتوي كلُّ مشيجٍ عاملاً واحدًا فقط لكلِّ صفةٍ وراثيَّةٍ. عندما يتّحدُ مشيجانِ أثناءَ عمليَّةِ الإخصابِ، يصبحُ عند الأبناءِ عاملانِ لكلِّ صفةٍ. ينصُّ **قانونُ الانعزالِ Law of segregation** كلُّ زوجٍ من العواملِ ينفصلُ أحدهُما عن الآخرِ أثناءَ تكوُّنِ الأمشاجِ.

قانونُ التوزيعِ الحرِّ

وزاوجَ مندل كذلك بين نباتاتٍ تختلفُ في صفتينِ، كلونِ الزهرةِ ولونِ البذرةِ. وقد أظهرتْ بياناتُ هذه التزاوجاتِ الأكثرِ تعقيدًا أن السماتِ التي تنتجُ عن عواملَ سائدةٍ لا تظهرُ بالضرورةِ معًا.







الشكل 7-4

1 إن تزاوجَ نباتاتِ بازلاَّءَ نقيَّةِ السلالةِ تحملُ سمةَ القرونِ الخضراءِ، ونباتاتِ بازلاَّءَ نقيَّةِ السلالةِ تحملُ سمةَ القرونِ الصفراءِ، ينتجُ منه نباتاتٌ ذاتُ قرونٍ خضراءَ. 2 مع ذلك، عندما يتلقَّحُ الجيلُ الأوَّلُ F_1 ذاتيًّا، ينتجُ في الجيلِ الثاني F_2 نباتاتٌ ذاتُ قرونٍ صفراءَ بنسبةِ $\frac{1}{4}$.

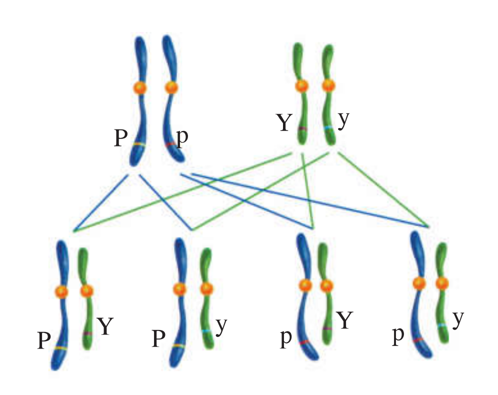
جذرُ الكلمةِ وأصلُها

مُتنحٍّ

Recessive

من اللاتينيّةِ recessus ومعناها «انحسرَ أو تنحّى»

فقد يَنتجُ قرنُ بازلاّءَ ببذورٍ خضراءَ عن عاملٍ سائدٍ عند نباتِ بازلاّءَ ذي أزهارٍ بيضاءَ. استنتجَ مندل أن العواملَ العائدةَ لصفاتٍ فرديّةٍ ليستْ مترابطةً. تذكَّرْ أنَّ الانفصالَ العشوائيَّ للكروموسوماتِ المتماثلةِ يسمّى التوزيعَ الحر. ينصُّ **قانونُ التوزيعِ الحرِّ Law of independent assortment** على أن العوامل الوراثية تنفصل أحدهما عن الآخرِ بصورةٍ مستقلَّةٍ أثناء تكوينِ الأمشاج.



الشكل 5-7

التوزيعُ الحرُّ لهذينِ الزوجينِ من الكروموسوماتِ المتماثلة (Pp و Yy) يُنتِجُ أمشاجًا تتضمَّنُ تشكيلاتٍ أليليَّةً. الحرفُ P يرمزُ إلى لونِ الزهرةِ الأرجوانيِّ السائد، والحرفُ p يرمزُ إلى اللونِ الأبيضِ المتنحي. الحرفُ Y يرمزُ إلى لونِ البذرةِ الأصفرِ السائد، والحرفُ y يرمزُ إلى لونِ البذرةِ الأخضرِ المتنحي.

تفسيرُ نتائجِ مندل في ضوءِ علمِ الوراثةِ الجزيئيَّةِ

إن معظمَ ما توصَّلَ إليه مندل يتَّفقُ مع ما يعرفُهُ علماءُ الأحياءِ عن علمِ الوراثةِ الجزيئيَّة. إن **علمَ الوراثةِ الجزيئيَّةِ Molecular genetics** هو علمُ تراكيبِ ووظائفِ الكروموسوماتِ والجيناتِ. الكروموسومُ تركيبٌ خيطيُّ الشكلِ مكوَّنٌ من DNA. أما الجينُ فهو قطعةٌ من DNA الكروموسوم تتحكَّمُ في سمةٍ وراثيَّةٍ محدّدةٍ. بما أن الكروموسوماتِ موجودةٌ على صورةِ أزواجٍ، فالجيناتُ أيضًا موجودةٌ على صورةِ أزواجٍ. وكلُّ شكلٍ من الشكلينِ البديلينِ المحتملينِ، للجينِ يسمّى **الأَلّيلَ Allele**. والآن تُعرفُ عواملُ مندل بالألّيلات.

ويُرمَزُ إلى الألّيلاتِ بحروفٍ. الحروفُ الكبيرةُ تَرمزُ إلى الألّيلاتِ السائدةِ، فيما ترمزُ الحروفُ الصغيرةُ إلى الألّيلاتِ المُتنحِّيَةِ. على سبيلِ المثالِ، الألّيلُ السائدُ لسمةِ اللونِ الأرجوانيِّ للزهرةِ يُرمَزُ إليه بالحرفِ P، بينما يُرمزُ إلى الألّيلِ المتنحّي لسمةِ اللونِ الأبيضِ لهذه الزهرةِ بالحرفِ p، كما في الشكل 7-5. وأن يكونَ الحرفُ كبيرًا أو صغيرًا فأمرٌ لازمٌ في دلالتِه. أما الحرفُ الذي تختارُهُ لترمزَ به إلى الألّيلِ فيرجعُ اختيارُهُ إليكَ. تتلقَّى الأمشاجُ، خلالَ الانشطارِ الاختزاليِّ، كروموسومًا واحدًا من كلِّ زوجٍ من الكروموسوماتِ المتماثلةِ، وبذلكَ، عند اتحادِ الأمشاجِ أثناءَ عمليّةِ الإخصابِ، يتلقَّى الأبناءُ ألّيلاً واحدًا لسمةٍ معيَّنةٍ، من كلٍّ من الأبوين.

إن قانونَ التوزيعِ الحرِّ يدعمُهُ التوزيعُ المستقلُّ للكروموسوماتِ على الأمشاجِ خلال الانشطارِ الاختزاليّ. لذلك، ينطبقُ قانونُ التوزيعِ الحرِّ فقط على الجيناتِ الموجودةِ على كروموسوماتٍ منفصلةٍ.

مراجعةُ القسمِ 1-7

1. ما النباتُ النقيُّ السلالةِ؟
2. وضِّحْ كيف أنتجَ مندل نباتاتٍ يحتوي كلٌّ منها سمتينِ متضادَّتينِ لصفةٍ محدَّدةٍ.
3. ما الألّيلُ السائدُ؟ وما الألّيلُ المتنحّي؟
4. ما نصُّ كلٍّ من القانونينِ الوراثيَّينِ اللذينِ نتجا عن أعمالِ مندل؟
5. ما الفرقُ بينَ الجينِ والألّيلِ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

6. كيف اختلفتْ نباتاتُ الجيلِ الأوّلِ F_1 عن نباتاتِ الجيلِ الثاني F_2؟
7. يظهرُ العديدُ من الاختلالاتِ الوراثيَّةِ عند بعضِ الأبناءِ من الناسِ لم تكنْ ظاهرةً عندَ آبائِهم. فسِّرْ كيفَ يمكنُ حدوثُ ذلكَ.

هل تقفزُ الجيناتُ؟

إنَّ إعادةَ اكتشافِ أعمالِ مندل عام 1900 سجلَتْ ولادةَ علمِ الوراثةِ. وُلدتْ بربارة ماكلينتوك *Barbara McClintock* عام 1902، وكرَّستْ حياتَها لهذا العلمِ الجديدِ. إلاّ أنَّ بعضَ الافتراضاتِ حولَ علمِ الوراثةِ، التي كان الإيمانُ بها قويًا لكنها خطأ، حالتْ دون القبولِ المبكّرِ بالاستنتاجاتِ المثيرةِ التي توصَّلتْ إليها ماكلينتوك.

الفرضيَّة: الجيناتُ قادرةٌ على التحرُّك

كان الاعتقادُ السائدُ عند معظم علماءِ الوراثةِ، زمنَ بربارة ماكلينتوك، أن الجيناتِ تصطفُّ على الكروموسوماتِ في مواقعَ ثابتةٍ لا تتغيرُ، تمامًا كحبّاتِ الخرزِ المنتظمةِ في خيطٍ. إلا أن ملاحظاتِ ماكلينتوك، خلالَ تجاربِها على نباتِ الذرةِ *Zea mays*، أوحَتْ إليها عكسَ ذلك. طوَّرتْ ماكلينتوك تقنيّاتِ صبغٍ جديدةٍ، واكتشفتْ إمكانيَّةَ التمييزِ بين الكروموسوماتِ العَشَرةِ للذرةِ تحت المجهرِ. وقد تنبهتْ إلى أن بعضَ التغيُّراتِ في المظهرِ الخارجيِّ لحباتِ الذرةِ ونباتِها، كانت مترافقةً مع تغيُّراتٍ في شكلِ كروموسومٍ واحدٍ، أو أكثرَ، من كروموسوماتِ الذرةِ. كذلك تنبهتْ إلى أن حبّاتِ الذرةِ التي سبقَ تعريضُها للأشعةِ السينيَّةِ، أنبتتْ ونمتْ فأنتجتْ نباتاتٍ سليمةً ظاهريًّا، لكن مع حدوثِ تغيُّراتٍ في شكلِ بعضِ كروموسوماتِها. لذا اقترحتْ أن جينومَ الذرةِ كانَ يتضمَّنُ نظامًا ديناميًّا لإصلاحِ الكروموسوماتِ يسمحُ بالنموِّ حتى وإن تسبَّبتِ الأشعةُ السينيَّةُ بأضرارٍ رئيسةٍ في الكروموسومِ. في ذلك الوقتِ كانَ علماءُ الوراثةِ يعتقدونَ أن الجينَ الذي حدثَتْ لهُ طفرةٌ هو جينٌ خاملٌ ولا يمكنُ، بصورةٍ عامةٍ، تنشيطُه. إلا أن ما وجدتْهُ ماكلينتوك كان تحدِّيًا لهذا الاعتقادِ.

الطرائقُ: تحليلُ كروموسوماتِ الذرةِ

أرادتْ ماكلينتوك أن تتفحّصَ بدقة نتائجَ إنماءِ الذرةِ التي كانت تحتوي على كروموسوماتٍ محطَّمة. وهكذا خلالَ شتاءِ 1944-1945 زرعتْ حباتِ ذرةٍ ناتجةً من تلقيحٍ ذاتيٍّ لعدةِ أجيالٍ من التزاوجِ الداخليِّ والإخصابِ الذاتي. وقد أملِت في تعقب الإصلاحاتِ الكروموسوميةِ من خلال ملاحظةِ التغيراتِ في شكلِ الكروموسومات.



تمَّ قطفُ محصولِ نباتِ الذرةِ الملوَّنِ *Zea mays* في جامعةِ كورنيل في أواخرِ عشرينيّاتِ القرنِ الماضي وأوائلِ الثلاثينيّاتِ منه لدراسته من الناحيةِ الوراثيّةِ. الألوانُ المتنوعةُ لحبّاتِ الذرة شكّلتْ مجموعةً من البياناتِ الوراثيّةِ الملوّنةِ الظاهرةِ للعيانِ.

النتائج: تغيراتٌ غيرُ متوقعة

عندما أنبتتِ النباتاتُ، دُهشتْ ماكلينتوك بالنتائجِ. فقد أظهرتِ الأوراقُ رقعًا غريبةً خاليةً من اللونِ الأخضرِ الاعتيادي. وكانت تلك الرقعُ تظهرُ بانتظامٍ على طولِ أنصالِ الأوراقِ. لذا قارنتْ كروموسوماتِ تلك النباتاتِ بكروموسوماتِ نباتاتِ الآباءِ تحت المجهرِ، واستنتجتْ أن قطعًا من كروموسوماتِ النباتاتِ الأبناءِ قد غيّرتْ مواقعَها.

الاستنتاج: للجيناتِ قدرةٌ على القفز

قادتِ التغيراتُ التي شاهدتْها ماكلينتوك في تلك النباتاتِ وفي كروموسوماتِها إلى الاستنتاجِ أن الجيناتِ غيرُ مستقرةٍ في الكروموسوم، بل يمكنُها أن تنتقلَ إلى مكانٍ جديدٍ على الكروموسومِ أو إلى كروموسومٍ آخرَ كليًّا. أطلقتْ ماكلينتوك على هذه الجيناتِ القادرةِ على الحركةِ اسمَ عناصرِ التحكم *Controlling elements*. ولاحقًا سميتْ هذه العناصرُ الجيناتِ القافزةَ *Transposons*.

لاحظتْ ماكلينتوك نوعَيْنِ من الجيناتِ القافزة: المفكِّكة والمنشِّطة. الجيناتُ القافزةُ المفكّكة يسعُها أن تقفزَ إلى موقعٍ كروموسوميٍّ جديدٍ عند تلقّيها إشارةً من الجيناتِ القافزةِ المنشِّطة. عندها تسبِّبُ الجيناتُ القافزةُ المفكِّكةُ تغيُّراتٍ في جيناتٍ مجاورةٍ على الكروموسوم، كما في لونِ حبّاتِ الذرةِ وأوراقِها. وتحققتْ ماكلينتوك من صحةِ استنتاجاتِها بتكرارِ تجاربِها.

القســــم

2-7

النواتج التعليمية

▲ يميِّزُ بين الطرازِ الجينيِّ والطرازِ المظهريِّ لكائنٍ حيّ.

● يوضحُ كيف يُستخدَمُ الاحتمالُ في توقُّعِ نتائجِ التزاوجاتِ الوراثيَّة.

■ يستخدمُ مربّعَ بونيت لتوقُّعِ نتائجِ تزاوجاتٍ أحاديّةِ التهجينِ وتزاوجاتٍ ثنائيّةِ التهجين.

◆ يوضحُ كيف يُستخدَمُ التلقيحُ الاختباريُّ لتحديدِ الطرازِ الجينيِّ لفردٍ طرازُهُ المظهريُّ يعبِّرُ عن سمةٍ سائدة.

▲ يميزُ بين تزاوجٍ أحاديِّ التهجينِ وآخرَ ثنائيِّ التهجين.

التزاوجاتُ الوراثيَّةُ

حاليًّا، يعتمدُ علماءُ الوراثةِ، على أعمالِ مندل لتوقعِ النتائجِ المحتملةِ للتزاوجاتِ الوراثية. ستتعلمُ، في هذا القسم، كيفيةَ توقعِ التركيبِ الجينيِّ والمظهرِ الخارجيِّ المحتملينِ للأبناءِ الناتجةِ عن تزاوجاتٍ محدّدةٍ.

الطرازُ الجينيُّ والطرازُ المظهريُّ

إن التركيبَ الجينيَّ لكائنٍ حيٍّ هو **طرازُهُ الجيني Genotype**. يتكوَّنُ الطرازُ الجينيُّ من الألّيلاتِ التي يرثُها كائنٌ حيٌّ من أبويه. على سبيلِ المثال، الطرازُ الجينيُّ لنباتِ البازلاءِ ذي الأزهارِ البيضاءِ، الظاهرِ في الشكل 7-6، يتكونُ من ألّيلين متنحّيَيْن للونِ الزهرةِ الأبيض، وهما يتمثلانِ بالحرفينِ *pp*. أما الطرازُ الجينيُّ لنباتِ البازلاءِ ذي الأزهارِ الأرجوانية فقد يكونُ *PP* أو *Pp*. إن كلاًّ من هذين الطرازينِ الجينيينِ قد يُنتجِ نباتَ بازلاءَ ذا أزهارٍ أرجوانيَّة، لأن الألّيلَ *P* هو ألّيلٌ سائد.

المظهرُ الخارجيُّ للكائنِ الحيِّ، هو **طرازُهُ المظهريُّ Phenotype**. وإن الطرازَ الجينيَّ لنباتِ البازلاءِ *PP* ، أو *Pp*، يعبِّرُ عن طرازِهِ المظهريِّ ليتمثلَ بأزهارِهِ الأرجوانية، بينما يتمثّلُ الطرازُ الجينيُّ لنباتِ البازلاءِ *pp* في طرازٍ مظهريٍّ هو الأزهارُ البيضاء. فالطرازُ المظهريُّ، كما ظهرَ في هذا المثال، لا يدلُّ بالضرورةِ على الطرازِ الجيني. وإن الألّيلاتِ المتنحيةَ وبعضَ العواملِ البيئيةِ يمكنُها أن تؤثرَ أيضًا في الطرازِ المظهري. فمثلاً، يمكنُ لنقصٍ في التغذيةِ الصحيحةِ أن يتسببَ في بقاءِ النباتِ، الطويلِ في أصلِهِ الوراثيِّ، قصيرًا.



الشكل 7-6

الطرازُ الجينيُّ لنباتِ البازلاءِ الظاهرُ إلى اليسارِ هو *pp* وطرازُهُ المظهريُّ هو الأزهارُ البيضاء. الطرازُ المظهريُّ لنباتِ البازلاءِ الظاهرُ إلى اليمينِ هو الأزهارُ لأرجوانيةُو، أما طرازُهُ الجينيُّ فهو *Pp* أو *PP*.

عندما يكونُ الأليلانِ لصفةٍ ما متماثلَيْنِ يعرفُ الكائنُ الحيُّ باسمِ **نقيٍّ Homozygous** لتلكَ الصفةِ. يمكنُ للكائنِ الحيِّ أن يكونَ سائدًا نقيًّا أو متنحيًّا نقيًّا. مثلاً، نباتُ البازلاءِ ذو لونِ الزهرةِ الأرجواني النقيِّ والسائدِ يكونُ طرازُهُ الجينيُّ *PP*. أما نباتُ البازلاءِ ذو لونِ الزهرةِ الأبيضِ النقيِّ المتنحّي فطرازُهُ الجينيُّ *pp*. عندما يكونُ الأليلانِ لصفةٍ ما مختلفينِ يسمّى الكائنُ الحيُّ **هجينًا Heterozygous** لتلكَ الصفةِ. إن نباتَ البازلاءِ الهجين للونِ الزهرةِ الأرجوانيِّ يكونُ طرازُهُ الجينيُّ *Pp*.

الاحتمالُ

الاحتمالُ Probability هو إمكانيَّةُ وقوعِ حدثٍ معيّنٍ بنسبةٍ تقديريّةٍ. يمكنُ التعبيرُ عن الاحتمالِ بعددٍ عَشْريٍّ أو نسبةٍ مئويَّةٍ أو عددٍ كسريٍّ. ويتحدَّدُ الاحتمالُ بالمعادلةِ التاليةِ:

$$\text{الاحتمالُ} = \frac{\text{عددُ المرّاتِ التي يمكنُ أن يتكرّرَ فيها وقوعُ الحدثِ}}{\text{عددِ المرّاتِ التي يقعُ فيها الحدثُ}}$$

فمثلاً في التجاربِ التي أجراها مندل، كانت 6022 مرةً سمةُ اللونِ الأصفرِ السائدةُ في البذورِ في الجيلِ الثاني F_2، أما سمةُ اللونِ الأخضرِ المتنحّيةُ في البذورِ فكانت 2,001 مرّةً. العددُ الإجماليُّ للبذورِ كان 8023 (6,022 + 2,001). وباستخدامِ معادلةِ الاحتمالِ السابقةِ يمكنُنا تحديدُ احتمالِ ظهورِ السمةِ السائدةِ في مثلِ هذا التزاوجِ كالتالي:

$$\frac{6022}{8023} = 0.756$$

للتعبيرِ عن ذلك بطريقةِ النسبِ المئويَّةِ، تكونُ نسبةُ الاحتمالِ 75%. أما التعبيرُ عنه على صورةِ عددٍ كسريٍّ فيكونُ 3/4. واحتمالُ ظهورِ السمةِ المتنحّيةِ في الجيلِ الثاني F_2 هو:

$$\frac{2001}{8023} = 0.25$$

وللتعبيرِ عن ذلك بالنسبِ المئويَّةِ، تكونُ نسبةُ الاحتمالِ 25%. أما التعبيرُ عن نسبةِ الاحتمالِ هذا بالعددِ الكَسريِّ، فهو 1/4. كذلك يمكنُ التعبيرُ عن الأعدادِ الكسريةِ بصورةِ نِسَبٍ. مثلاً، النسبةُ 3:1 تمثِّلُ الاحتمالَ نفسَهُ الذي يمثِّلُهُ العددُ الكسريُّ 1/4. الاحتمالُ هنا يعني أن وجودَ ثلاثِ فرصٍ من أصلِ أربعٍ، أي أنهُ في كلِّ مرّةٍ يُنتِجُ أبوانِ هجينانِ فردًا يكونُ احتمالُ أن يحملَ طرازُهُ المظهريُّ السمةَ السائدةَ 3/4، بينما يكونُ احتمالُ أن يحملَ طرازُهُ المظهريُّ السمةَ المتنحّيةَ 1/4.

إن النتائجَ التي يتمُّ توقعُها عن طريقِ الاحتمالِ تكادُ تكونُ أقربَ إلى عددِ فرصِ وقوعِ الحدثِ بالفعلِ، عندما يتكرّرُ وقوعُهُ. مثلاً، في كلِّ مرّةٍ نرمي درهمًا في الهواءِ يكونُ احتمالُ ظهورِ وجهِ القطعةِ (الصورة) بنسبةِ 50%، ومثلُهُ احتمالُ ظهورِ الوجهِ الآخرِ (الكتابة). وهذه الاحتمالاتُ تكونُ متطابقةً مع النسبِ المتوقَّعةِ عند زيادةِ عددِ مرّاتِ رمي الدرهمِ. أما إذا رُميَ الدرهمُ مرّاتٍ قليلةً، فمن الممكنِ أن لا نحصلَ على النتيجةِ نفسِها.

نشاطٌ عمليٌّ سريع

حسابُ الاحتمالِ

الموادُّ كيسٌ من الورقِ يحتوي على 20 حبّةً من حلوى الجلي بثلاثةِ ألوانٍ مختلفةٍ (الأعدادُ من كلِّ لونٍ مجهولةٌ).

الإجراءُ

1. خذْ من معلّمِك كيسًا يحتوي على 20 حبّةَ جلي. لا تنظرْ إلى محتوى الكيسِ ولا تأكلِ الحبّاتِ. يوجدُ ثلاثةُ ألوانٍ يُحتملُ سحبُ حباتِها من الكيسِ. اسحبْ حبّةَ جلي واحدةً وسجِّلْ لونَها. أعدِ الحبّةَ إلى الكيسِ وهزَّ الكيسَ لخلطِ الحبّاتِ.
2. كرِّرْ تنفيذَ الخطوةِ 1 إلى أن تسجِّلَ ألوانَ عشرينَ حبّةَ جلي.
3. حدِّدِ احتمالَ الحصولِ على حبّةِ جلي من لونٍ معيَّنٍ عند السحبِ مرةً واحدةً. كرِّرِ العملَ والتوقُّعَ تُجاهَ الألوانِ الثلاثةِ لحبّاتِ الجلي. قارنِ النتائجَ التي حصلتَ عليها بنتائجِ زملائكَ في الصفِّ.

التحليلُ هل توصَّلَ أيٌّ من المتعلّمينَ في الصفِّ إلى الأعدادِ المحتملةِ نفسِها التي توصَّلتَ إليها أنتَ؟ هل كانَ هناكَ احتمالاتٌ قريبةٌ جدًّا من احتمالاتِكَ؟ هل كانَ هناكَ احتمالاتٌ مختلفةٌ كثيرًا عن احتمالاتِكَ؟ من خلالِ هذهِ الملاحظاتِ، قدِّرْ كم حبَّةَ جلي من كلِّ لونٍ، يوجدُ في كيسِكَ.

توقُّعُ نتائجِ التزاوجاتِ أحاديَّةِ التهجينِ

إن تزاوجَ فردينِ يختلفانِ في صفةٍ وراثيَّةٍ واحدةٍ يسمّى **تزاوجًا أحاديَّ التهجين Monohybird cross**. إن التزاوجَ بين نباتِ بازلاءَ يُنتِجُ أزهارًا أرجوانيَّةً نقيَّةَ السلالةِ ونباتِ بازلاّءَ يُنتِجُ أزهارًا بيضاءَ نقيَّةَ السلالةِ، هو مثالٌ لتزاوجٍ أحاديِّ التهجين. يستخدمُ علماءُ الأحياءِ رسمًا تخطيطيًّا يسمّى **مربَّعَ بونيت Punnett square**، الشكل 7-7، ليساعدَهُمْ في توقُّعٍ جيِّدٍ لاحتمالِ إنتاجِ السماتِ الموروثةِ عند الأبناءِ. الأمثلةُ التاليةُ تُبيِّنُ كيف يمكنُ استخدامُ مربَّعِ بونيت لتوقُّعِ نتائجِ أنواعٍ مختلفةٍ من التزاوجاتِ.

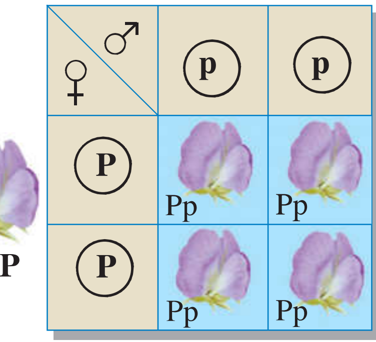
المثالُ الأوَّلُ: نقيٌّ × نقيٌّ

يظهرُ في الشكلِ 7-7 تزاوجٌ بين نباتِ بازلاءَ ذي أزهارٍ أرجوانيةٍ نقيّةٍ *PP* ونباتِ بازلاّءَ ذي أزهارٍ بيضاءَ نقيّةٍ *pp*. الأليّلاتُ التي يحملُها الأبُ في أمشاجِه، ذو الصفةِ السائدةِ النقيَّةِ تتمثَّلُ بأحرفِ *P* في الجانبِ الأيسرِ من مربَّعِ بونيت. أما الأليّلاتُ التي يحملُها الأبُ في أمشاجِه، ذو الصفةِ المتنحِّيَةِ والنقيَّةِ فتتمثَّلُ بأحرفِ *p* في الجانبِ العلويِّ من مربَّعِ بونيت. كلُّ مربَّعٍ داخلَ مربعِ بونيت يوسمُ بالأحرفِ أو الأليّلاتِ التي تقعُ فوقَهُ وإلى يسارِهِ. إن تشكيلاتِ الأليّلاتِ داخلَ المربَّعاتِ الأربعةِ تشيرُ إلى الطُّرُزِ الجينيَّةِ المحتملةِ التي يمكنُ أن تنتجَ من التزاوجِ. إن الطرازَ الجينيَّ المتوقَّعَ هو *Pp* في كلِّ حالةٍ من الحالاتِ. لذلك، فإن نسبةَ الأبناءِ التي تتَّصفُ بالطرازِ الجينيِّ *Pp* وبالطرازِ المظهريِّ للونِ الأرجوانيِّ للأزهارِ تبلغُ 100%.

المثالُ الثاني: نقيٌّ × هجينٌ

يبيِّنُ الشكلُ 7-8 تزاوجًا بين خنزيرِ غينيا ذي شعرٍ أسودَ سائدٍ ونقيٍّ *BB* وبين خنزيرِ غينيا ذي شعرٍ أسودَ سائدٍ وهجينٍ *Bb*. الحرفُ *b* يعني الأليّلَ المتنحِّيَ. الطرازُ الجينيُّ *bb* يعبِّرُ عن اللونِ البُنِّيِّ للشعرِ. لاحظْ وجودَ احتمالينِ اثنينِ للطرازِ الجينيِّ يمكنُ أن يَنتِجَ أحدُهما عن هذا التزواجِ، هما *BB* أو *Bb*. إن احتمالَ أن يكونَ الأبناءُ من الطرازِ *BB* نسبتُهُ 2/4 أو 50%، واحتمالُ أن يكونَ الأبناءُ من الطرازِ الجينيِّ *Bb* هو أيضًا 2/4، أو 50%. أي يمكنُكَ أن تتوقَّعَ أن حوالي 50% من الأبناءِ الناتجةِ من هذا التزاوجِ هي بسمةِ لونِ الشعرِ الأسودِ السائدِ والنقيِّ، وحوالي 50% بسِمةِ لونِ الشعرِ الأسودِ السائدِ والهجين. إن نسبةَ الطرازِ المظهريِّ المحتملِ هي 4/4، أو 100% من الأبناءِ ذاتِ الشعرِ الأسودِ اللونِ. ماذا لو كانَ خنزيرُ غينيا ذو الصفةِ النقيَّةِ للشعرِ الأسودِ يحملُ صفةَ لونِ الشعرِ المتنحِّيةِ والنقيَّةِ؟ في هذه الحالِ، تشتملُ النتائجُ على أبناءٍ نقيَّةٍ وذاتِ طرازٍ جينيٍّ *bb*. يُرجَّحُ أن ينتجَ من التزاوجِ بين خنزيرِ غينيا *bb* وخنزيرِ غينيا *Bb*، حوالي 50% من الأبناءِ *Bb* وحوالي 50% من الأبناءِ *bb*.





الشكل 7-7
إن تزاوجَ نباتِ بازلاّءَ ذي أزهارٍ أرجوانيَّةٍ نقيَّةٍ ونباتِ بازلاّءَ ذي أزهارٍ بيضاءَ نقيَّةٍ ينتجُ أبناءً ذاتَ أزهارٍ أرجوانيةِ اللونِ فقط. لاحظْ أن جميعَ الأبناءِ ستكونُ هجينةً لصفةِ لونِ الأزهارِ الأرجواني.

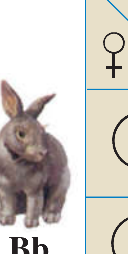
الشكل 7-8
إن تزاوجَ خنزيرِ غينيا لونُ شعرِه أسودُ نقيٌّ وخنزيرِ غينيا لونُ شعرِه أسودُ هجينٌ ينتجُ منه أبناءٌ جميعُها ذاتُ شعرٍ أسودَ. لاحظْ أنه من المتوقَّعِ أن يكونَ نصفُ الأبناءِ الناتجةِ من هذا التزاوجِ الأحاديِّ التهجين ذاتَ لونِ شعرٍ نقيٍّ.

Bb

♂ / ♀	B	b
B	BB	Bb
B	BB	Bb

BB

Bb



Bb

♀ \ ♂	B	b
B	BB	Bb
b	Bb	bb

الشكل 7-9

إن تزاوجَ أرنبين هجينين للونِ الشعرِ الأسودِ، يُنتجُ 50% من الأبناءِ بشعرٍ أسودَ هجين، و25% من الأبناءِ بشعرٍ أسودَ نقيٍّ، و25% من الأبناءِ بشعرٍ بُنّيٍّ نقيٍّ.

المثالُ الثالثُ: هجينٌ × هجينٌ

يسودُ، عند الأرانب، أليلُ لونِ الشعرِ الأسودِ *B* على أليلِ لونِ الشعرِ البنّيِّ *b*. ويبيّنُ مربَّعُ بونيت، في الشكلِ 7-9، أن النتائجَ المتوقَّعةَ للتزاوجِ بين أرنبين هجينين *Bb* لصفةِ لونِ الشعرِ، هي: 1/4 (25%) من الأبناءِ يُتوقَّعُ أن يتَّصفَ بالطرازِ الجينيِّ *BB*، و 1/2 (50%) من الأبناءِ يُتوقَّعُ أن يتَّصفَ بالطرازِ الجينيِّ *Bb*، و 1/4 (25%) من الأبناءِ يُتوقَّعُ أن يتّصفَ بالطرازِ الجينيِّ *bb*. ومن المتوقَّعِ أن يكونَ 3/4 (75%) من الأبناءِ الناتجةِ عن هذا التزاوجِ ذاتَ لونِ شعرٍ أسودَ، و1/4 (25%) من الأبناءِ ذاتَ لونِ شعرٍ بنّيٍّ.

المصطلحُ الذي يدلُّ على نسبةِ الطُّرُزِ الجينيةِ التي تظهرُ عند الأبناءِ هو **نسبةُ الطرازِ الجينيِّ Genotypic ratio**. ونسبُ الطُّرُزِ الجينيَّةِ المحتملةِ في التزاوجِ، الظاهرةُ في الشكلِ 7-9، هي 1BB:2Bb:1bb. والمصطلحُ الذي يدلُّ على نسبةِ الطُّرُزِ المظهريَّةِ عند الأبناءِ هو **نسبةُ الطرازِ المظهريِّ Phenotypic ratio**. ونسبةُ الطرازِ المظهريِّ المحتملةُ في التزاوجِ، المبيَّنةُ في الشكلِ 7-9، هي 3 سوداءُ اللونِ: 1 بنّيُّ اللونِ.

المثالُ الرابعُ: التلقيحُ الاختباريُّ

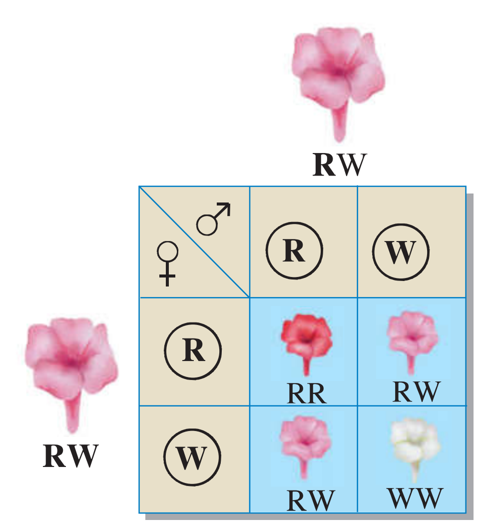
تذكرْ أن *BB* و *Bb*، في حالةِ الأرنبِ يرمزانِ إلى اللونِ الأسودِ للشعرِ. كيف يمكنُكَ أن تعرفَ ما إذا كان الأرنبُ ذا شعرٍ أسودَ نقيٍّ *BB* أو هجين *Bb*؟ يمكنُكَ إجراءُ **التلقيحِ الاختباريِّ Testcross**، الذي يتمُّ فيه تزاوجُ فردٍ يتّصفُ بالطرازِ الجينيِّ المجهولِ لصفةٍ سائدةٍ مع فردٍ يتّصفُ بالصفةِ المتنحّيةِ النقيَّةِ. يمكنُ للتلقيحِ الاختباريِّ أن يحدِّدَ الطرازَ الجينيَّ لأيِّ فردٍ يتّصفُ بالطرازِ المظهريِّ السائدِ للسمةِ. إذا كان الطرازُ الجينيُّ المجهولُ يعبِّرُ عن لونٍ أسودَ نقيٍّ، فإن جميعَ الأبناءِ ستتَّصفُ باللونِ الأسودِ، أما إذا كان الطرازُ الجينيُّ المجهولُ، للأرنبِ مثلاً، يعبِّرُ عن لونٍ أسودَ هجينٍ، فإن نصفَ الأبناءِ تقريبًا سيكونُ ذا شعرٍ أسودِ اللونِ، الشكلُ 7-10. وإذا أنتجَ هذا التزاوجُ فردًا واحدًا من الأبناءِ يتّصفُ باللونِ البنّيِّ للشعرِ، فإن الطرازَ الجينيَّ للأبِ ذي الشعرِ الأسودِ يُرجَّحُ أن يكونَ هجينًا.

♀ \ ♂	b	b
B	Bb	Bb
B	Bb	Bb

♀ \ ♂	b	b
B	Bb	Bb
b	bb	bb

الشكل 7-10

في حالِ حصلنا من تزاوجِ أرنبٍ أسودَ مع أرنبٍ بنّيٍّ، على واحدٍ من الأبناءِ بنّيِّ اللونِ، يكونُ الأرنبُ الأسودُ الشعرِ هجينًا.



الشكل 7-11
عند تزاوج نبات شبِّ الليل ذي الأزهار الحمراء مع نبات شبِّ الليل ذي الأزهار البيضاء، جميعُ أفراد الجيل الأوّل F_1 تنتجُ أزهارًا ورديّة، واللونُ الورديُّ لونٌ وسطيٌّ يمزجُ بين الطرازين المظهريّين للأبوين. وعندما تتزاوجُ نباتاتٌ من الجيل الأوّل F_1 فيما بينها تَنتجُ نباتاتٌ ذاتُ أزهارٍ حمراءَ ونباتاتٌ ذاتُ أزهارٍ بيضاءَ ونباتاتٌ ذاتُ أزهارٍ ورديّة، لأن سمةَ اللونِ الأحمرِ غيرُ تامّةِ السيادةِ على سمةِ اللونِ الأبيضِ للأزهار.

المثالُ الخامسُ: السيادةُ غيرُ التامّةِ

تذكَّرْ أن تزاوجاتِ مندل لنباتِ البازلّاءِ تضمَّنَتْ أليِّلاً واحدًا ذا سيادةٍ تامّةٍ على أليِّلٍ آخرَ. وهذه العلاقةُ تسمّى **السيادةَ التامّةَ Complete dominance**. مع السيادةِ التامّةِ يكونُ الطرازُ المظهريُّ للنباتاتِ السائدةِ النقيَّةِ والهجينةِ هو نفسَه. فمثلاً، نباتاتُ البازلّاءِ *PP* و *Pp* تكونُ ذاتَ أزهارٍ أرجوانيةِ اللونِ.

وفي بعضِ الأحيانِ، يتَّصفُ الجيلُ الأوَّلُ F_1 بطرازٍ مظهريٍّ وسطيٍّ، بين الطرازين المظهريين للأبوين، وهذه العلاقةُ تسمّى **السيادةَ غيرَ التامّة Incomplete dominance**. تحدُثُ السيادةُ غيرُ التامّةِ عندما يكونُ الطرازُ المظهريُّ لفردٍ هجينٍ طرازًا مظهريًّا وسطيًّا، أي بين الطُّرَزِ المظهريَّةِ لسمتينِ متضادتينِ نقيَّتينِ. في حالةِ تزاوجِ نباتِ شبِّ الليلِ، مثلاً، يؤثِّرُ أليِّلُ الأزهارِ الحمراءِ *R* وأليِّلُ الأزهارِ البيضاءِ *W* معًا في الطرازِ المظهريِّ. لأن أيًّا من الأليِّلين ليسَ سائدًا سيادةً كاملةً على الأليِّلِ الآخرِ. عندما يحدثُ التلقيحُ الذاتيُّ بين نباتِ شبِّ الليلِ تُنتجُ النباتاتُ ذاتُ الأزهارِ الحمراءِ نباتاتٍ ذاتَ أزهارٍ حمراءَ فقط، وتُنتجُ النباتاتُ ذاتُ الأزهارِ البيضاءِ نباتاتٍ ذاتَ أزهارٍ بيضاءَ فقط. إلا أنه عند تزاوجِ نباتِ شبِّ الليلِ ذي الأزهارِ الحمراءِ مع نباتِ شبِّ الليلِ ذي الأزهارِ البيضاءِ، تتّصفُ جميعُ أزهارِ نباتاتِ الجيلِ الأوَّلِ F_1، لهذا التزاوجِ، بالطرازِ المظهريِّ الورديِّ اللونِ. جميعُ النباتاتِ الناتجةِ عن هذا التزاوجِ تتَّصفُ بالطرازِ الجينيِّ *RW*، الذي يُعبِّرُ عن الطرازِ المظهريِّ الورديِّ اللونِ للنباتاتِ.

فماذا تكونُ نتيجةُ التزاوجِ بين نباتينِ من شبِّ الليلِ ذَوَيْ أزهارٍ ورديَّةِ اللونِ *RW*؟ بحسبِ ما يبيِّنُهُ مربَّعُ بونيت في الشكل 7-11، تكونُ النسبةُ المحتملةُ للطرازِ الجينيِّ *1RR:2RW:1WW*. بناءً عليه، لن يكونَ أيٌّ من أليِّلَيِ الأزهارِ الحمراءِ *R* والأزهارِ البيضاءِ *W* سائدًا بصورةٍ تامّةٍ، وستكونُ النسبةُ المحتملةُ للطرازِ المظهريِّ 1 للأحمرِ: 2 للورديِّ: 1 للأبيضِ.

المثالُ السادسُ: السيادةُ المشتركةُ

تحدثُ **السيادةُ المشتركةُ Codominance** عندما يَظهرُ التعبيرُ عن كلِّ أليِّلٍ من أليِّلي الجينِ الواحدِ في أبناءٍ هجينةٍ. في السيادةِ المشتركةِ لا يحدثُ أيُّ اختلاطٍ بين الأليِّلين في الطرازِ المظهريِّ، كما أن أيًّا من الأليِّلين لا يكونُ سائدًا ولا متنحِّيًا. فمثلاً، فصائلُ دمِ الإنسانِ الثلاثُ: *MN* ،*N* ،*M* يحدِّدُها الأليِّلانِ الحرفانِ *M* و *N* يمثلانِ جزيئَينِ يوجدانِ ضمن غشاءِ خليَّةِ الدمِ الحمراءِ. إن الطرازَ الجينيَّ لإنسانٍ ينتمي إلى فصيلةِ الدمِ *MN* هو L^ML^N، ولا يسودُ أيٌّ من الأليِّلين على الآخرِ. إن خلايا الدمِ *MN* تحملُ النوعينِ من الجزيئاتِ *M* و *N* ضمنَ أغشيتِها.

توقُّعُ نتائجِ التزاوجاتِ ثنائيَّةِ التهجين

التزاوجُ ثنائيُّ التهجينِ Dihybrid cross، هو تزاوجُ فردينِ يختلفانِ في زوجينِ من الصفاتِ الوراثيَّةِ المتضادّةِ. إن توقُّعَ نتائجِ التزاوجِ ثنائيِّ التهجينِ أكثرُ تعقيدًا من توقُّعِ نتائجِ التزاوجِ أحاديِّ التهجينِ، وذلك بسببِ احتمالاتٍ ممكنةٍ أكثرَ للتشكيلاتِ التي تحقِّقُها الأليلاتُ. فمثلاً، لتوقُّعِ نتائجِ التزاوجِ الخاصِّ بملمسِ البذرةِ ولونِها يجبُ أن نأخذَ في الاعتبارِ كيفيَّةَ حدوثِ التشكيلاتِ الجينيَّةِ لأربعةِ أليلاتٍ لكلٍّ من الأبوين.

نقيٌّ × نقيٌّ

إذا رغبتَ في توقُّعِ نتائجِ تزاوجٍ بين نباتِ بازلّاءَ ذي بذورٍ ملساءِ الملمسِ وصفراءِ اللونِ نقيَّةٍ، ونباتِ بازلّاءَ ذي بذورٍ مجعَّدةِ الملمسِ وخضراءِ اللونِ نقيَّةٍ، في نباتِ البازلاءِ يسودُ أليلُ البذورِ الملساءِ R على أليلِ البذورِ المجعَّدةِ r، كما يسودُ أليلُ البذورِ الصفراءِ Y على أليلِ البذورِ الخضراءِ y.

وكما في الشكلِ 7-12، سيتضمَّنُ مربَّعُ بونيت، المستخدمُ لتوقُّعِ نتائجِ التزاوجِ بين أبوينِ أحدُهما من الطرازِ الجينيِّ $RRYY$ والثاني من الطرازِ الجينيِّ $rryy$، في 16 مربَّعًا. توجدُ الأليلاتُ في الأمشاجِ الذكريَّةِ والأنثويَّةِ (حبوبِ اللقاحِ والبيضةِ). التوزيعُ الحرُّ لأليلاتِ أحدِ الأبوين هو: RY، RY، RY، RY، كما في الجانبِ الأيسرِ من مربَّعِ بونيت، أما التوزيعُ الحرُّ للأليلاتِ عند الأبِ الثاني فهي: ry، ry، ry ، ry، كما يظهرُ في أعلى مربَّعِ بونيت، ويحتوي كلُّ مربعٍ على الأحرفِ التي تعلوها وعلى الأحرفِ الموجودةِ إلى يسارِها، خارجَ المربَّعِ. لاحظْ أن الطرازَ الجينيَّ لجميعِ أبناءِ هذا التزاوجِ سيكونُ هجينًا للصفتين معًا، أي $RrYy$، وبالتالي فإن الطرازَ المظهريَّ لكلِّ الأبناءِ سيكونُ بذورًا ملساءَ وصفراءَ.

rryy

RRYY

♂ / ♀	ry	ry	ry	ry
RY	RrYy	RrYy	RrYy	RrYy
RY	RrYy	RrYy	RrYy	RrYy
RY	RrYy	RrYy	RrYy	RrYy
RY	RrYy	RrYy	RrYy	RrYy

الشكل 7-12
مربَّعُ بونيت هذا يبيِّنُ تزاوجًا ثنائيَّ التهجين بين نباتِ البازلّاءِ ذي السمتين المتنحّيتين والنقيَّتين: بذورُهُ مجعَّدةٌ خضراءُ اللونِ: $rryy$، وبين نباتِ البازلّاءِ ذي السمتين السائدتين والنقيَّتين: بذورُهُ ملساءُ صفراءُ اللونِ $RRYY$.

نشاطٌ عمليٌّ سريعٌ

تحديدُ الطرزِ الجينيَّةِ

الموادُّ قلمُ رصاصٍ وورقٌ.

الإجراءُ
القدرةُ على لفِّ اللسانِ إلى أعلى، انطلاقًا من جوانبِهِ، هي سمةٌ سائدةٌ موروثةٌ. ففي أسرةٍ معيَّنةٍ، يتمتَّعُ الأبوانِ وثلاثةٌ من أولادِهما بهذه القدرةِ على لفِّ اللسانِ، في حين أن ولدًا واحدًا لا يتمتَّعُ بها.
حدِّدِ الطرازَ الجينيَّ والطرازَ المظهريَّ لكلٍّ من الأبوين.

التحليلُ الأبوانِ نقيّانِ أم هجينانِ؟
الأولادُ أنقياءُ أم هجناءُ؟

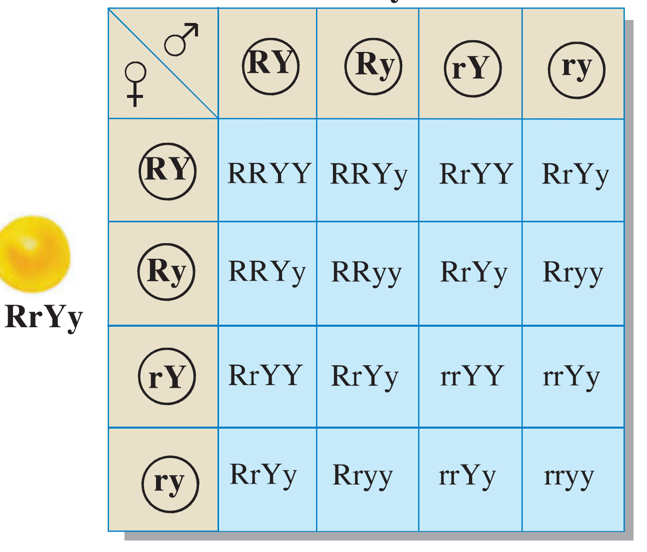
هجينٌ × هجينٌ

لتحديدِ نتائجِ التزاوجِ بينَ نباتينِ منَ البازلاّءِ كلاهما ذو بذورٍ ملساءَ وصفراءَ وهجينةٍ، يكونُ الإجراءُ مطابقًا لما في الشكل 7-13. سيتّصفُ أبناءُ هذا التزاوجِ الثنائيِّ التهجينِ، على الأرجحِ، بتسعةِ طرزٍ جينيّةٍ مختلفةٍ. والطرزُ الجينيّةُ التسعةُ هذه ستنتجُ نباتاتِ بازلاّءَ تتّصفُ بالطرزِ المظهريّةِ الأربعةِ التالية:

- 9/16 ذاتُ بذورٍ ملساءَ وصفراءَ، والطرزُ الجينيّةُ: RRYY، RRYy، RrYY، RrYy.
- 3/16 ذاتُ بذورٍ ملساءَ وخضراءَ، والطرازانِ الجينيّانِ: RRyy، Rryy.
- 3/16 ذاتُ بذورٍ مجعّدةٍ صفراءَ، والطرازانِ الجينيّانِ: rrYY، rrYy.
- 1/16 ذاتُ بذورٍ مجعّدةٍ وخضراءَ، والطرازُ الجينيُّ: rryy.

أي إن نِسَبَ الطرزِ المظهريّةِ ستكونُ:

9 (ملساء صفراء) : 3 (ملساء خضراء) : 3 (مجعّدة صفراء) : 1 (مجعّدة خضراء)



♂ / ♀	RY	Ry	rY	ry
RY	RRYY	RRYy	RrYY	RrYy
Ry	RRYy	RRyy	RrYy	Rryy
rY	RrYY	RrYy	rrYY	rrYy
ry	RrYy	Rryy	rrYy	rryy

الشكل 7-13
يفترضُ أن يُنتجَ التزاوجُ بين فردينِ هجينينِ في الصفتينِ معًا تسعةَ طُرُزٍ جينيَّةٍ مختلفةٍ، وأربعةَ طرزٍ مظهريَّةٍ مختلفةٍ.

مراجعةُ القسمِ 7-2

1. فسِّرْ لماذا لا يمكنُ للطرازِ المظهريِّ أن يدلَّ دائمًا على الطرازِ الجينيِّ؟
2. ما المعادلةُ المستخدمةُ في تحديدِ الاحتمالِ؟
3. وضِّحْ كيف يمكنُكَ أن تحدِّدَ الطرازَ الجينيَّ لنباتِ بازلاّءَ ذي أزهارٍ أرجوانيّةٍ؟
4. وضِّحْ باستخدامِكَ مربَّعَ بونيت النتائجَ المحتملةَ لتزاوجٍ بين نباتِ شبِّ الليلِ ذي الأزهارِ الورديّةِ ونباتِ شبِّ الليلِ ذي الأزهارِ البيضاءِ.
5. ما الفرقُ بين التزاوجِ أحاديِّ التهجينِ والتزاوجِ ثنائيِّ التهجينِ؟ أعطِ مثالاً على كلٍّ منهما.

تفكيرٌ ناقدٌ

6. عند تزاوجِ قطٍّ وقطّةٍ قصيرَي الذنبِ يكونُ النسلُ الناتجُ بالنسبِ التالية: 25% بلا ذَنَبٍ، 25% بذَنَبٍ طويلٍ، و50% بذَنَبٍ قصيرٍ. ما الفرضيّةُ التي يمكنُكَ وضعُها حولَ الطرزِ الجينيّةِ للأبوينِ وطريقةِ توارثِ الذنبِ؟
7. إذا أجريتَ تزاوجًا بين نباتَيْ بازلاّءَ يتصفانِ بالأزهارِ الأرجوانيّةِ، وكانت جميعُ أفرادِ الجيلِ الأوّلِ F_1 ذاتَ أزهارٍ أرجوانيّةٍ، فما الطرزُ الجينيّةُ للأبوينِ؟ إذا كانتْ بعضُ أفرادِ الجيلِ الأوّلِ F_1 تتّصفُ بالأزهارِ البيضاءِ، فماذا تكونُ الطرزُ الجينيّةُ للأبوينِ؟

مراجعةُ الفصل 7

ملخَّصٌ / مفرداتٌ

1-7

- علمُ الوراثةِ هو دراسةُ كيفيَّةِ انتقالِ الصفاتِ من الآباءِ إلى الأبناءِ.
- لاحظَ مندل سبعَ صفاتٍ في نباتِ البازلاَّءِ، لكلِّ صفةٍ سمتانِ متضادَّتانِ.
- يحدُثُ التلقيحُ الذاتيُّ عادةً في النباتِ عن طريقِ نقلِ حبوبِ اللقاحِ من متوكِ زهرةٍ إلى ميسمِ الزهرةِ نفسِها أو إلى ميسمِ زهرةٍ أخرى من النباتِ نفسِه. يحدثُ التلقيحُ الخلطيُّ عن طريقِ نقلِ حبوبِ اللقاحِ من زهرةِ نباتٍ إلى زهرةِ نباتٍ آخرَ مختلفٍ من النوعِ نفسِه.
- استنتجَ مندل أن الصفاتِ الموروثةَ تتحكَّمُ بها عواملُ توجدُ على صورةِ أزواجٍ. وفي تجاربِه على نباتاتِ البازلاَّءِ، تبيّنَ له أن أحدَ العاملينِ يحجبُ العاملَ الثاني. السمةُ التي حَجبتِ السمةَ الأخرى تسمّى السمةَ السائدةَ. أما السمةُ التي تُحجَبُ فتسمّى السمةَ المتنحّيةَ.
- ينصُّ قانونُ الانعزالِ على أن كلَّ زوجٍ من العواملِ يتوزَّعُ أو ينفصلُ أثناءَ تكوُّنِ الأمشاجِ. ثم يتَّحدُ عاملانِ لصفةٍ واحدةٍ عندما يحدثُ الإخصابُ، ويتمُّ إنتاجُ أبناءٍ جددٍ.
- ينصُّ قانونُ التوزيعِ الحرِّ، على أن عواملَ الصفةِ الواحدةِ تتوزَّعُ على الأمشاجِ بشكلٍ مستقلٍّ عن عواملِ الصفاتِ الأخرى. يُلاحَظُ قانونُ التوزيعِ الحرِّ، حصرًا، في الجيناتِ التي تقعُ على كروموسوماتٍ منفصلةٍ.
- نعلمُ حاليًّا، أن العواملَ التي درسَها مندل هي أليّلاتٌ، أو أشكالٌ بديلةٌ لجينٍ واحدٍ. كلُّ شكلٍ بديلٍ للجينِ، من شكلينِ أو أكثرَ، يسمّى أليّلا. ينتقلُ أليّلٌ واحدٌ لكلِّ سمةٍ من أحدِ الأبوينِ إلى الأبناءِ.

مفرداتٌ

- **الأليّلُ** Allele (130)
- **التلقيحُ** Pollination (126)
- **التلقيحُ الخلطيُّ** Cross-pollination (126)
- **التلقيحُ الذاتيُّ** Self-pollination (126)
- **جيلُ الآباءِ** P Generation (127)
- **الجيلُ الأوَّلُ** F_1 Generation F_1 (127)
- **الجيلُ الثاني** F_2 Generation F_2 (127)
- **السمةُ** Trait (125)
- **السائدُ** Dominant (129)
- **علمُ الوراثةِ** Genetics (125)
- **علمُ الوراثةِ الجزيئيَّةِ** Molecular genetics (130)
- **قانونُ الانعزالِ** Law of segregation (129)
- **قانونُ التوزيعِ الحرِّ** Law of independent assortment (130)
- **المتنحّي** Recessive (129)
- **النقيُّ السلالةِ** True-breeding (127)
- **الوراثةُ** Heredity (125)

2-7

- الطرازُ الجينيُّ هو التركيبُ الجينيُّ لكائنٍ حيٍّ. الطرازُ المظهريُّ لكائنٍ حيٍّ هو مظهرُهُ الخارجيُّ.
- الاحتمالُ هو ترجيحُ وقوعِ حدثٍ معيّنٍ. يمكنُ التعبيرُ عن الاحتمالِ على صورةِ عددٍ عشريٍّ أو نسبةٍ مئويةٍ أو كسرٍ.
- يمكنُ استخدامُ مربعِ بونيت في توقُّعِ نتائجِ التزاوجاتِ الجينيَّةِ.
- التزاوجُ بين أفرادٍ يختلفونَ بصفةٍ وراثيَّةٍ واحدةٍ هو تزاوجٌ أحاديُّ التهجينِ.
- يتمُّ استخدامُ التلقيحِ الاختباريِّ، الذي يشتملُ على تزاوجِ فردٍ مجهولِ الطرازِ الجينيِّ وآخرَ ذي طرازٍ مظهريٍّ متنحٍّ نقيٍّ، لتحديدِ الطرازِ الجينيِّ للفردِ سائدِ الطرازِ المظهريِّ ومجهولِ الطرازِ الجينيِّ.
- تحدثُ السيادةُ التامّةُ عندما يكونُ الطرازُ المظهريُّ لأفرادٍ هجينةٍ وأفرادٍ سائدةٍ نقيَّةٍ هو نفسَه.
- تحدثُ السيادةُ غيرُ التامّةِ عندما يتأثرُ الطرازُ المظهريُّ بأليّلينِ أو أكثرَ، بحيث يَنتجُ عن ذلك طرازٌ مظهريٌّ وَسَطيٌّ، أي بين السمةِ السائدةِ والسمةِ المتنحّيةِ.
- تحدثُ السيادةُ المشتركةُ عندما يتمُّ التعبيرُ عن أليّلينِ لجينٍ محدّدٍ عند أبناءٍ هجينةٍ. إن أيًّا من الأليّلينِ غيرُ سائدٍ ولا متنحٍّ، ولا يختلطُ الأليّلانِ في الطرازِ المظهريِّ كما يحدُثُ لهما في السيادةِ غيرِ التامّةِ.
- التزاوجُ بين فردينِ يختلفانِ في صفتينِ متضادَّتينِ هو تزاوجٌ ثنائيُّ التهجينِ.

مفرداتٌ

- **الاحتمالُ** Probability (133)
- **التزاوجُ أحاديُّ التهجينِ** Monohybrid cross (134)
- **التزاوجُ ثنائيُّ التهجينِ** Dihybrid cross (137)
- **التلقيحُ الاختباريُّ** Testcross (135)
- **السيادةُ التامّةُ** Complete dominance (136)
- **السيادةُ غيرُ التامةِ** Incomplete dominance (136)
- **السيادةُ المشتركةُ** Codominance (136)
- **طرازٌ جينيٌّ** Genotype (132)
- **طرازٌ مظهريٌّ** Phenotype (132)
- **مربَّعُ بونيت** Punnett square (134)
- **نسبةُ الطرازِ الجينيِّ** Genotypic ratio (135)
- **نسبةُ الطرازِ المظهريِّ** Phenotypic ratio (135)
- **النقيُّ** Homozygous (133)
- **الهجينُ** Heterozygous (133)

مراجعةٌ

مفرداتٌ

1. وضِّح الفرقَ بين كلِّ زوجٍ من أزواجِ المفاهيمِ التالية:
أ. نقيٌّ وهجينٌ.
ب. قانونُ الانعزالِ وقانونُ التوزيعِ الحرِّ.
ج. علمُ الوراثةِ والتوارث.

2. استخدمِ المفرداتَ التاليةَ في جملةٍ واحدة:
التلقيحُ، التلقيحُ الذاتيُّ، التلقيحُ الخلطيُّ.

3. وضِّحِ العلاقةَ بين المفرداتِ في كلٍّ من الأزواجِ التالية:
أ. الطرازُ الجينيُّ والطرازُ المظهريُّ.
ب. تزاوجٌ أحاديُّ التهجينِ وتزاوجٌ ثنائيُّ التهجينِ.
ج. الأَلِّيلُ والسمَةُ.

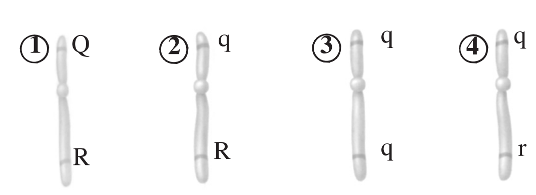
اختيارٌ من مُتعدِّدٍ

4. ما الإجراءُ الذي يتمُّ خلالَهُ التزاوجُ بين فردٍ ذي طرازٍ جينيٍّ مجهولٍ وفردٍ نقيٍّ ومتنحٍّ، لتحديدِ الطرازِ الجينيِّ المجهولِ لفردٍ محدَّدٍ؟
أ. التزاوجُ أحاديُّ التهجين.
ب. التزاوجُ ثنائيُّ التهجين.
ج. التلقيحُ الذاتيُّ.
د. التلقيحُ الاختباريُّ.

5. ما الطرزُ الجينيَّةُ المتوقَّعةُ عند الأبناءِ لتزاوجٍ أحاديِّ التهجينِ بين أبوين هجينين *Pp*؟
أ. 1PP : 2Pp : 1pp
ب. 3PP : 1pp.
ج. 3Pp : 1pp.
د. جميعها Pp.

6. أيٌّ من التالي يدلُّ على طرازٍ جينيٍّ لفردٍ هجينٍ؟
أ. r.
ب. YY.
ج. Zz.
د. rr.

7. استخدمْ هذه الرسومَ التخطيطيَّةَ للكروموسوماتِ للإجابةِ عن السؤالِ التالي. للكروموسومِ المفردِ التالي جينانِ، يحملُ كلٌّ منهما الأَلّيلَ السائدَ Q والأَلِّيلَ السائدَ P.



الكروموسوماتُ المتماثلةُ هي كروموسوماتٌ تحملُ جيناتٍ تعودُ للصفاتِ نفسِها، مثل لونِ العينينِ ولونِ الشعرِ. أيٌّ من الكروموسوماتِ، في الصفِّ السفليِّ، لا يمكنُ أن يكونَ كروموسومًا مماثلاً للكروموسومِ المفردِ في الصفِّ العلويِّ؟
أ. 1.
ب. 2.
ج. 3.
د. 4.

8. Pp: طرازٌ جينيٌّ ؛ أرجوانيٌ.
أ. جيلٌ أوّلُ F_1.
ب. هجينٌ.
ج. طرازٌ مظهريٌّ.
د. سائدٌ.

استخدمْ هذا الرسمَ التخطيطيَّ لمربَّعِ بونيت وأجبْ عن السؤالِ التالي:


rr

♂ / ♀	r	r
R	1	2
R	3	4

Rr

إن مربَّعَ بونيت هذا يبيِّنُ النتائجَ المتوقَّعةَ لتزاوجٍ بين نباتينِ من البازلاّء. R و r يمثلانِ على التوالي أليّلاً لسمةِ البذرةِ الملساءِ وأليّلاً لسمةِ البذرةِ المجعَّدة.

9. ما الطرازُ المظهريُّ لملمسِ البذرةِ للنباتِ المشارِ إليه في المربَّعِ رقم 4؟
أ. أملسٌ.
ب. Rr.
ج. مجعَّدٌ.
د. rr.

إجابةٌ قصيرةٌ

10. لماذا ابتدأ مندل أعمالَهُ بتركِ نباتاتِ البازلاّءِ تتلقّحُ ذاتيًّا ولعدةِ أجيالٍ متتاليةٍ؟

11. ما الفرقُ بين السمةِ السائدةِ والسمةِ المتنحيِّةِ؟

12. وضِّح الفروقَ بين جيلِ الآباءِ P والجيلِ الأوَّلِ F_1 والجيلِ الثاني F_2 في تجاربِ مندل.

13. لماذا لا يُعتبَرُ ضروريًّا استخدامُ تعبيرِ نقيٍّ، لفردٍ طرازُهُ المظهريُّ متنحٍّ؟

14. ما الفرقُ بين تزاوجٍ أُحاديِّ التهجينِ وتزاوجٍ ثُنائيِّ التهجينِ؟

15. ما العلاقةُ بين أحداثِ الانشطارِ الاختزاليِّ وقانونِ الانعزالِ؟

16. وضِّحْ كيف يستطيعُ بستانيٌّ لديه نباتُ بازلاّءَ ينتجُ بذورًا ملساءَ، أن يحدِّدَ إذا كان النباتُ نقيًّا أو هجينًا بالنسبةِ إلى الأليلِ الذي يحدِّدُ ملمسَ البذرةِ. (في نباتِ البازلاءِ، سمةُ الملمسِ الأملسِ للبذرةِ سائدةٌ على سمةِ الملمسِ المجعَّدِ للبذرةِ).

17. ما العلاقةُ بين الاحتمالِ ودراسةِ علمِ الوراثةِ؟

18. توقَّعْ نتائجَ التزاوجِ بين أرنبٍ ذي لونِ شعرٍ أسودَ نقيٍّ وسائدٍ BB، وأرنبٍ ذي لونِ شعرٍ بنيٍّ نقيٍّ ومتنحٍّ bb.

19. استخدمِ المفرداتِ التاليةَ في وضعِ خريطةِ مفاهيمَ توضحُ المعلوماتِ المتعلّقةَ بتجاربِ مندل: نباتاتُ بازلاّءَ، وراثةٌ، تلقيحٌ ذاتيٌّ، تلقيحٌ خلطيٌّ، الجيلُ الأوَّلُ F_1، الجيلُ الثاني F_2، السمةُ، سلالةٌ نقيّةٌ.

تفكيرٌ ناقدٌ

1. استخدمْ مربَّعَ بونيت هذا وأجبْ عن الاسئلةِ التاليةِ:

♀ \ ♂	QT	Qt	qT	qt
QT	QQTT	QQTt	QqTT	QqTt
Qt	QQTt	QQtt	QqTt	Qqtt
qT	QqTT	QqTt	qqTT	qqTt
qt	QqTt	Qqtt	qqTt	qqtt

أ. هل يبيِّنُ مربعُ بونيت هذا تزاوجًا أحاديَّ التهجينِ أم تزاوجًا ثنائيَّ التهجينِ؟

ب. ما الطرزُ الجينيَّةُ للأبوينِ؟

ج. حدِّدْ نسبةَ الطرزِ الجينيَّةِ المتوقَّعةِ من خلالِ مربَّعِ بونيت لهذا التزاوجِ.

2. اكتبْ تقريرًا يلخِّصُ كيفَ يسمَحُ فهمُ عمليَّةِ التوارثِ لمربِّي الحيواناتِ بالحصولِ على حيواناتٍ تتَّصفُ بالسماتِ التي يرغبونَ فيها. جدْ أصنافَ حيواناتٍ تتمُّ تربيتُها لأغراضٍ خاصّةٍ.

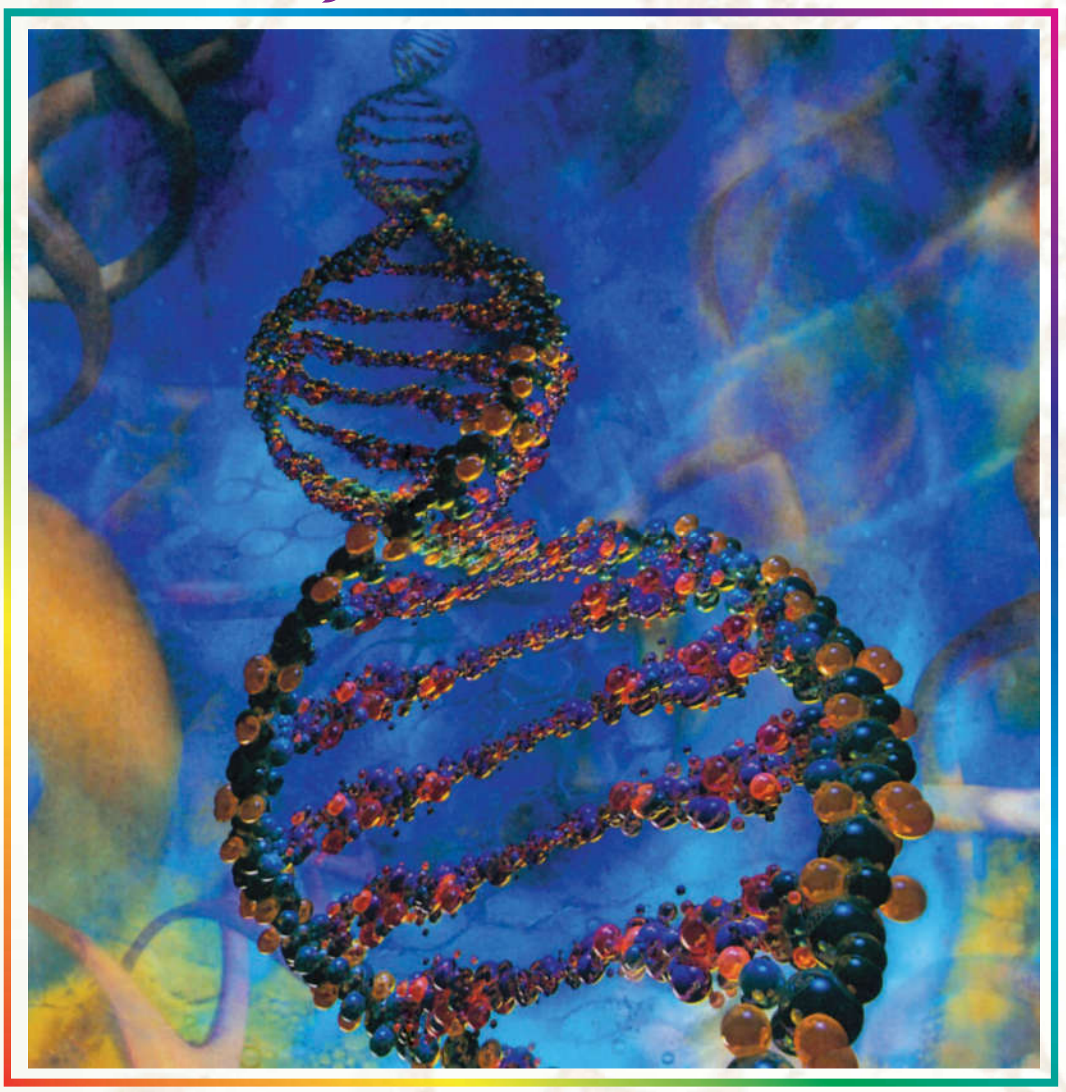
توسيعُ آفاقِ التفكيرِ

التزاوجُ بين نباتَيْ بازلاّءَ هجينيْن يتّصفانِ بأزهارٍ محوريَّةٍ وقرونٍ منتفخةٍ أنتجَ الأبناءَ التاليةَ: 18 نباتًا ذاتَ أزهارٍ محوريّةٍ وقرونٍ منتفخةٍ، 6 نباتاتٍ ذاتِ أزهارٍ محوريَّةٍ وقرونٍ متخصِّرةٍ، و5 نباتاتٍ ذاتِ أزهارٍ طرفيَّةٍ وقرونٍ منتفخةٍ، ونباتين بأزهارٍ طرفيَّةٍ وقرونٍ متخصِّرةٍ.

أ. حدِّدِ الطرازَ الجينيَّ الأكثرَ ترجيحًا للأبوين.

ب. استخدمْ مربَّعَ بونيت لإيضاحِ النتائجِ

الأحماضُ النوويَّةُ (DNA و RNA) وبناءُ البروتيناتِ



جزيءُ DNA على شكلِ سلّمٍ لولبيٍّ، كما يظهرُ في هذا النموذجِ. يحتوي DNA على المعلوماتِ المتعلّقةِ ببناءِ البروتيناتِ الضروريّةِ للحياةِ.

1-8 اكتشافُ DNA

2-8 تركيبُ DNA

3-8 تضاعفُ DNA

4-8 بناءُ البروتيناتِ

المفهومُ الرئيسُ تركيبُ الخليّةِ ووظائفُها

وأنتَ تقرأ، تنبَّهْ إلى دورِ كلٍّ من DNA و RNA في تخزينِ المعلوماتِ وبناءِ البروتيناتِ.

القسم

1-8

النواتج التعليمية

▲ يوضحُ أهميّةَ تجاربِ كريفيث في دورِ العاملِ الوراثيِّ في التحوُّلِ.

● يلخِّصُ كيف قادتِ التجاربُ التي أجراها آفري وفريقُهُ إلى الاستنتاجِ أن DNA مسؤولٌ عن التحوُّلِ في البكتيريا.

■ يصفُ كيف قادتِ التجاربُ التي أجراها هيرشي وتشيس إلى الاستنتاجِ أن DNA، وليس البروتينُ، هو الجزيءُ الوراثيُّ لدى الفيروساتِ.

اكتشافُ DNA

استنادًا إلى دراساتِهِ لنباتِ البازلّاءِ، استنتجَ مندل أن عواملَ وراثيّةً تحدِّدُ الكثيرَ من سماتِ الكائنِ الحيِّ. لكن ما هي تلك العواملُ الوراثيَّةُ؟ وكيف خَزّنتْ تلك الجزيئاتُ المعلوماتِ الوراثيَّةَ؟ اعتقدَ العلماءُ أنهم لو تمكّنوا من الإجابةِ عن تلك الأسئلةِ، لاستطاعوا أن يفهموا كيف تنقلُ الخلايا الصفاتِ إلى أبنائِها. بدأت الإجابةُ عن تلك الأسئلةِ تبرزُ خلالَ تفشّي مرضِ التهابِ الرئةِ، في لندن، في القرنِ العشرين.

الأدلّةُ التي تثبتُ أن DNA مادَّةُ الوراثةِ

تجاربُ جريفيث

في عام 1928، قامَ الضابطُ الطبيبُ الإنجليزيُّ فريدريك كريفيث Frederick Griffith بدراسةِ البكتيريا *Streptococcus pneumoniae* (المختصرةِ بـ *S. pneumoniae*). بعضُ أنواعِ هذه البكتيريا يمكنُها التسبُّبُ في مرضِ التهابِ الرئةِ عند الثدييّاتِ. كان جريفيث يحاولُ تطويرَ لَقاحٍ ضدَّ نوعٍ من هذه البكتيريا المسبِّبةِ للمرضِ أو **الفتّاكةِ Virulent**.

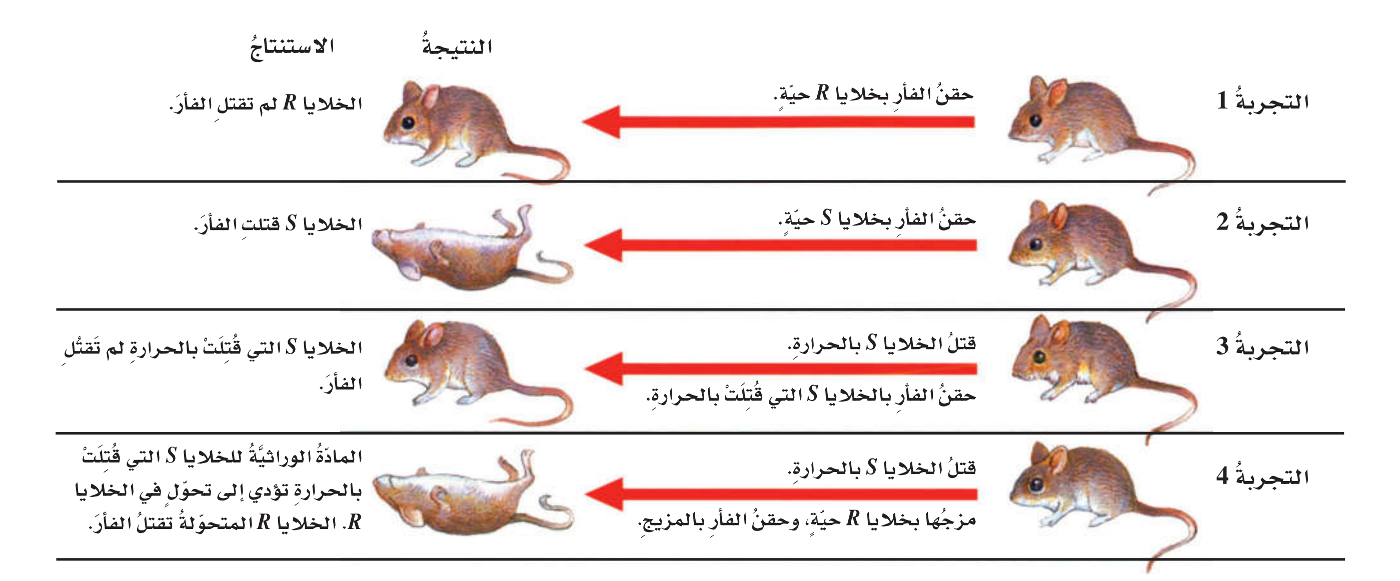
كلُّ خليةِ بكتيريا *S. pneumoniae* فتّاكةٍ تكونُ محاطةً بمحفظةٍ مكوَّنةٍ من السكّرياتِ المتعدِّدة، تقيها خطرَ أجهزةِ الجسمِ الدفاعيَّةِ، الشكل 8-1. تنمو البكتيريا الفتاكةُ عند زرعِها في طبقٍ بتري على شكلِ مستعمراتٍ ذاتِ حافّاتٍ *ملساءَ Smooth*، وتسمّى النوعَ *S*. في المقابلِ، يوجدُ نوعٌ ثانٍ من البكتيريا *S. pneumoniae*، لا يتسبَّبُ في مرضِ التهابِ الرئةِ، ويفتقرُ إلى محفظةٍ، ويسمّى النوعَ *R*، لأنه ينمو على شكلِ مستعمراتٍ *خشنةٍ Rough*، الشكل 8-1.



مستعمَراتُ النوعِ S للبكتيريا الضارّةِ

مستعمَراتُ النوعِ R للبكتيريا غيرِ الضارّةِ

الشكل 8-1
قامَ كريفيث بدراسةِ البكتيريا *S. pneumoniae*. النوعُ S يتسبَّبُ في مرضِ التهابِ الرئةِ. أما النوعُ R فلا يتسبَّبُ في مرضِ التهابِ الرئةِ.



الشكل 2-8
استخدمَ فريدريك كريفيث خلايا بكتيريّةً فتّاكةً (S) وخلايا غيرَ فتّاكةٍ (R) ليبيّنَ أن المادةَ الوراثيّةَ قادرةٌ على الانتقالِ من خليةٍ إلى أخرى.

استخدمَ كريفيث نوعَيِ البكتيريا *S. pneumoniae* في أربعِ تجارب، الشكلُ 8-2. توفِّرُ هذه التجاربُ فهمًا عميقًا لطبيعةِ المادّةِ الوراثيَّةِ. فقد استنتجَ كريفيث من تجاربِهِ الأربعِ أن الخلايا البكتيريّةَ الفتّاكةَ التي قُتِلَتْ بالحرارةِ حرَّرتْ عاملاً وراثيًّا داخلَ الخلايا غيرِ الضارّةِ، ما أدى إلى انتقالِ القدرةِ على التسبُّبِ في المرضِ من الخليَّةِ الفتّاكةِ إلى الخلايا غيرِ الضارّةِ. هذا النوعُ من انتقالِ المادّةِ الوراثيَّةِ من خليةٍ ميتةٍ إلى خليَّةٍ أخرى حيَّةٍ، أو من كائنٍ حيٍّ إلى كائنٍ حيٍّ آخرَ، يسمّى **التحوُّلَ Transformation**.

تجاربُ آفري

في أوائلِ أربعينيّاتِ القرنِ العشرينَ، قرَّرَ الباحثُ الأمريكيُّ أوزوالد آفري Oswald Avery وزملاؤُهُ إجراءَ اختبارٍ لمعرفةِ ما إذا كانَ العنصرُ المحوِّلُ، في تجاربِ كريفيث، هو البروتينَ أو RNA أو DNA. ولهذا الهدفِ استخدمَ العلماءُ، وبشكلٍ مستقلٍّ، أنزيماتٍ مفكِّكةً للجزيئاتِ الثلاثةِ الموجودةِ في الخلايا S التي قُتِلَتْ بالحرارةِ. فقد استخدموا في تجربةٍ أولى أنزيمًا مفكِّكًا للبروتينِ (*Protease*) لتدميرِ البروتينِ في الخلايا التي قُتِلَتْ بالحرارةِ، وأنزيمًا مفكِّكًا لـ RNA (*RNase*) في تجربةٍ ثانيةٍ، وأنزيمًا مفكِّكًا لـ DNA (*DNase*) في تجربةٍ ثالثةٍ. بعدها، مزجوا وبشكلٍ مستقلٍّ، كلاًّ من الكميَّاتِ التجريبيَّةِ الثلاثِ من الخلايا S التي قُتِلَتْ بالحرارةِ مع خلايا R حيّةٍ، وحقنوا الفئرانَ بكلِّ مزيجٍ.

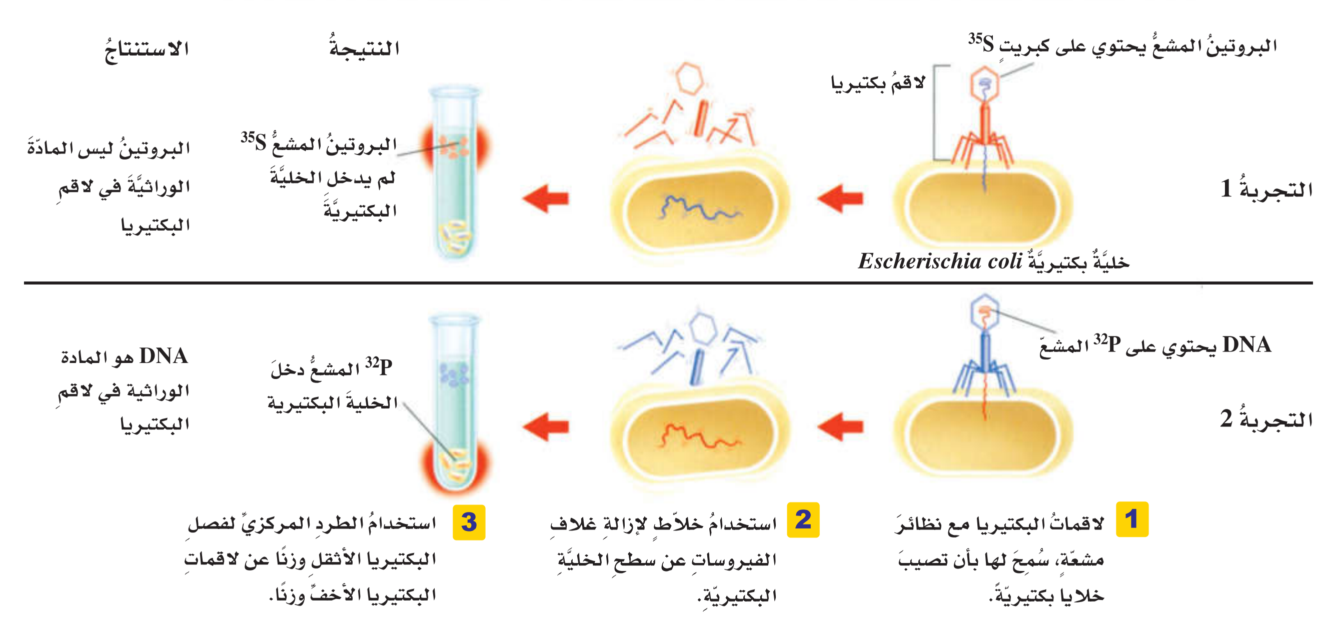
وجدَ آفري وفريقُهُ أن الخلايا التي تفتقرُ إلى البروتينِ وإلى RNA قادرةٌ على تحويلِ الخلايا R إلى خلايا S، وعلى قتلِ الفئرانِ. إلاّ أن الخلايا التي تفتقرُ إلى DNA لم تحوّلِ الخلايا R إلى خلايا S، فبقيتِ الفئرانُ على قيدِ الحياةِ. واستنتجوا أن DNA مسؤولٌ عن التحوُّلِ في البكتيريا.

تجاربُ هيرشي وتشيس

في عامِ 1952، أجرى الباحثانِ الأمريكيّانِ مارثا تشيس Martha Chase وألفرد هيرشي Alfred Hershey، اختبارًا لمعرفةِ ما إذا كان DNA أو البروتينُ هو المادَّةَ

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

التحوُّلُ
Transformation
من اللاتينيةِ trans وتعني «عبرَ» و forma وتعني «شكلاً». أي تغييرَ حالةٍ أو ميزةٍ أو وظيفةٍ لشيءٍ معينٍ



الوراثيَّةَ التي تنقلُها الفيروساتُ، عند دخولِها إلى البكتيريا. تسمّى الفيروساتُ التي تصيبُ البكتيريا **لاقماتِ البكتيريا Bacteriophages**، أو اللاّقماتِ *Phages*. يلخِّصُ الشكلُ 8-3 خطواتِ تجربةِ هيرشي وتشيس والنتائجَ والاستنتاجاتِ التي حصلا عليها.

الشكل 8-3
بيّنَتْ تجربةُ هيرشي وتشيس أن DNA ينقلُ معلوماتٍ وراثيَّةً من لاقماتِ البكتيريا إلى البكتيريا التي تصيبُها.

ففي الخطوةِ **1**، استخدمَ هيرشي وتشيس نظائرَ مشعّةً لتمييزِ البروتينِ والحمضِ النوويِّ DNA في اللاقمِ. فقد استخدما الكبريتَ المشعَّ ^{35}S للبروتينِ، والفوسفورَ المشعَّ ^{32}P للحمضِ النوويِّ DNA. بعدها، تركا البروتينَ و DNA المميَّزين يصيبانِ، وبصورةٍ مستقلّةٍ، بكتيريا *Escherichia coli*.

في الخطوةِ **2**، أزالا أغلفةَ اللاّقماتِ عن الخلايا، بواسطةِ خلاّطٍ.

وفي الخطوةِ **3**، استخدما آلةَ طردٍ مركزيٍّ، لفصلِ اللاقماتِ عن البكتيريا *E. coli* فوجدا أن كلَّ DNA الفيروسيِّ، والقليلَ من البروتينِ، دخلا خلايا *E. coli*. فاستنتجا أن DNA هو الجزيءُ الوراثيُّ من الفيروساتِ.

مراجعةُ القسمِ 1-8

1. كيف بيّنتْ تجاربُ كريفيث أن عاملاً وراثيًّا كان معنيًّا بالتحوُّلِ في البكتيريا.
2. صفْ كيفَ أوضحتْ دراساتُ آفري وزملائِهِ أن DNA هو المسؤولُ عن التحوُّلِ في البكتيريا.
3. كيف قدَّمتْ تجربةُ هيرشي وتشيس الدليلَ على أن DNA، وليس البروتينُ، هو المادَّةُ الوراثيَّةُ في الفيروساتِ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

4. إلامَ أدّى قتلُ البكتيريا S بالحرارةِ في تجاربِ كريفيث؟
5. لو أن هيرشي وتشيس وجدا ^{32}P و ^{35}S معًا في الخلايا البكتيريّةِ فماذا كان استنتاجُهما؟

القسم

2-8

النواتج التعليمية

▲ يقيّمُ مساهماتِ واتسون وكريك في اكتشافِ التركيبِ الحلزونيِّ المزدوجِ لـ DNA.

● يصفُ الأجزاءَ الثلاثةَ للنيوكليوتيدِ.

■ يبينُ دورَ الروابطِ الهيدروجينيَّةِ والروابطِ التساهميَّةِ في تركيبِ DNA.

◆ يوضحُ العلاقةَ بين ازدواجِ القواعدِ النيتروجينيَّةِ وتركيبِ DNA.

تركيبُ DNA

عند أوائلِ خمسينيّاتِ القرنِ العشرين، كان معظمُ علماءِ الأحياءِ يوافقونَ على أن DNA هو المادّةُ الوراثيّةُ. إلا أنهم كانوا لا يزالونَ يفتقرونَ إلى فهمِ تركيبِ DNA، وكيف يستطيعُ هذا الجزيءُ أن يضاعفَ المعلوماتِ الوراثيّةَ ويخزّنَها وينقلَها ويديرَ الوظائفَ الخلويّةَ. هذه الألغازُ بدأتْ تحلُّ بعد وقتٍ قصيرٍ في جامعةِ كامبردج في إنجلترا.

الحلزونُ المزدوجُ لـ DNA

خلالَ خمسينيّاتِ القرنِ العشرينَ، بدأ العالمانِ واتسون Watson وكريك Crick دراسَتَهما لتحديدِ تركيبِ DNA. في عامِ 1953 وضعا نموذجًا لتركيبِ DNA، الشكلُ 8-4. كانَ اقتراحُهما أن DNA مكوّنٌ من سلسلتينِ تلتفُّ إحداهُما حولَ الأخرى على شكلِ حلزونٍ مزدوجٍ، وهو شكلٌ شبيهٌ بسُلَّمٍ لولبيٍّ ملتفٍّ. كان نموذجُهُما النهائيُّ صحيحًا وبارزًا، لأنه وضَّح كيف يستطيعُ DNA أن يتضاعفَ.

في عامِ 1962، حازَ واتسون وكريك على جائزةِ نوبل للطبِّ، لأعمالِهما على DNA.

الشكل 8-4

واتسون (إلى اليسارِ) وكريك يقفانِ بجوارِ نموذجِ DNA.

تركيبُ النيوكليوتيداتِ في DNA

DNA حَمضٌ نوويٌّ مكوّنٌ من سلسلتينِ طويلتينِ تتألّفانِ من وحداتٍ بنائيَّةٍ متكرّرةٍ، تسمّى نيوكليوتيداتٍ. كلُّ **نيوكليوتيد Nucleotide** يتكوّنُ من ثلاثةِ أجزاءٍ: سكَّرٍ خماسيِّ الكربونِ ومجموعةٍ فوسفاتيَّةٍ وقاعدةٍ نيتروجينيَّةٍ، الشكلُ 8-5. السكَّرُ الخماسيُّ الكربونِ الموجودُ في نيوكليوتيدِ DNA يسمّى **الرايبوزَ منقوصَ الأكسجينِ Deoxyribose**. تتكوَّنُ المجموعةُ الفوسفاتيَّةُ من ذرَّةِ فوسفورٍ (P) مرتبطةٍ بأربعِ ذرّاتِ أوكسجينٍ (O). **القاعدةُ النيتروجينيَّةُ Nitrogenous base** تحتوي على ذرّاتِ نيتروجينٍ (N) وذرّاتِ كربونٍ (C).

الروابطُ توفِّرُ تماسكَ DNA

إن الحلزونَ المزدوجَ لـ DNA يشبهُ سُلَّمًا لولبيًّا، الشكلُ 8-5. تشكِّلُ الجزيئاتُ المتبادَلةُ للسكّرِ والفوسفاتِ «جانبَيِ السلَّمِ». ترتبطُ النيوكليوتيداتُ الموجودةُ على طولِ كلِّ سلسلةٍ بروابطَ تساهميَّةٍ تجمعُ بين سكّرِ أحدِ النيوكليوتيداتِ والمجموعةِ الفوسفاتيّةِ للنيوكليوتيدِ التالي.

تقعُ القواعدُ النيتروجينيَّةُ (وتسمّى «القواعدَ» للاختصارِ) إلى جهةِ مركزِ جزيءِ DNA. والقواعدُ الموجودةُ على طولِ سلسلةٍ واحدةٍ من DNA تقعُ قبالةَ القواعدِ الموجودةِ على السلسلةِ الأخرى، وتشكِّلُ معها روابطَ تسمّى *الروابطَ الهايدروجينيَّةَ Hydrogen bonds*. القواعدُ النيتروجينيَّةُ الواقعةُ بين السلسلتينِ، هي على شكلِ أزواجٍ ترتبطُ فيما بينها برابطينِ هايدروجينيّينِ أو ثلاثةِ روابطَ هايدروجينيّةٍ. تشكِّلُ أزواجُ القواعدِ «درجاتِ السُّلَّمِ». وتتَّصفُ بتجانسٍ في عرضِها لأنّ قاعدةً واحدةً من كلِّ زوجٍ ذاتُ تركيبٍ ثنائيِّ الحلقةِ، والقاعدةُ الثانيةُ ذاتُ تركيبٍ أحاديِّ الحلقةِ.

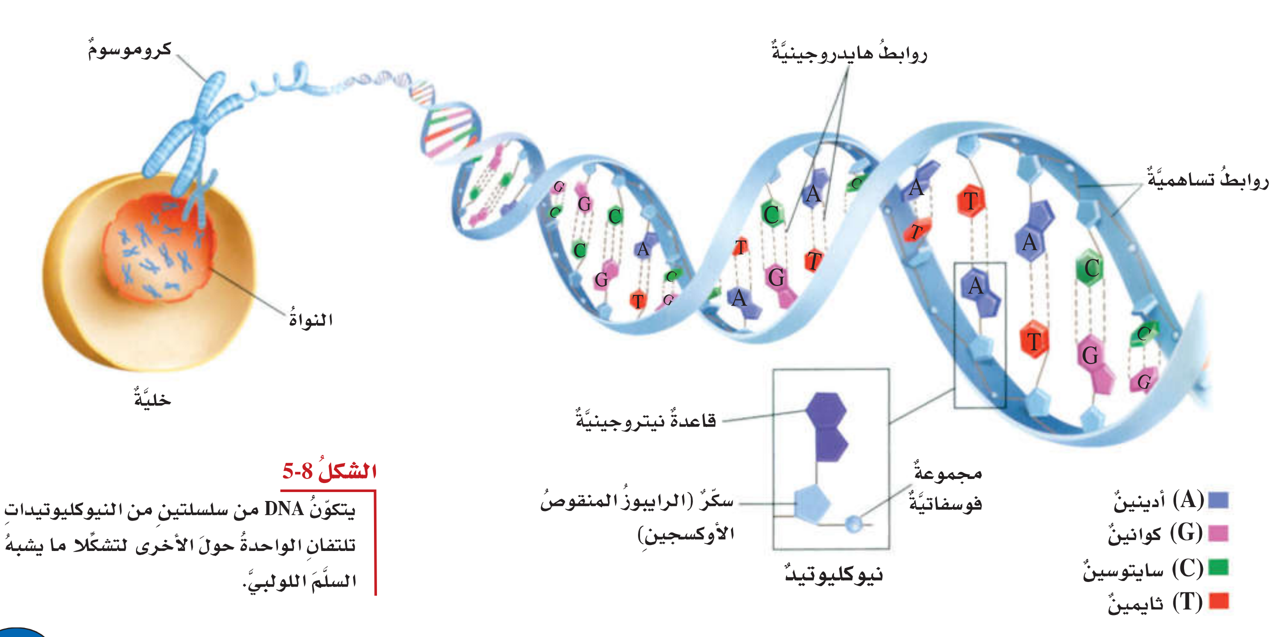
تشيرُ الخطوطُ المتقطِّعةُ في الشكلِ 8-5، إلى مواقعِ الروابطِ الهايدروجينيَّةِ. الروابطُ الهايدروجينيَّةُ القائمةُ بين القواعدِ تساعدُ على تماسكِ سلسلتَيْ DNA.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

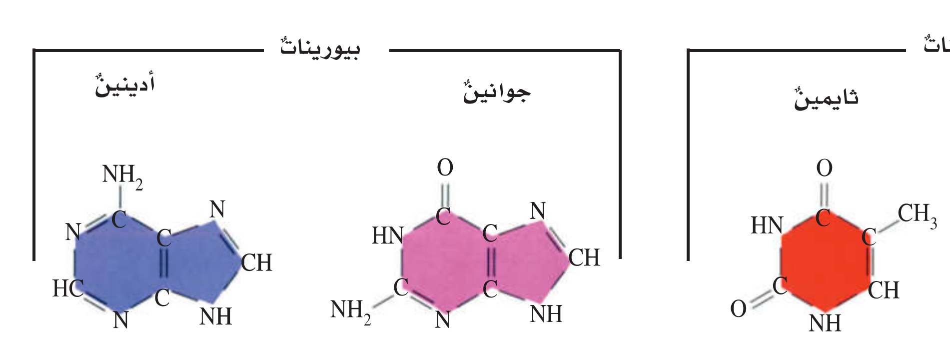
الرايبوزُ منقوصُ الأكسجينِ

Deoxyribose

من اللاتينيّةِ de وتعني «بعيدًا عن»، ومن اليونانيَّةِ oxys وتعني «الحادَّ» أو «الحمضيَّ» (كالأوكسجينِ)، و ribose وهو نوعٌ من «السكّرِ»



الشكلُ 8-5
يتكوّنُ DNA من سلسلتينِ من النيوكليوتيدات تلتفانِ الواحدةُ حولَ الأخرى لتشكّلا ما يشبهُ السلّمَ اللولبيَّ.



الشكل 6-8
نوعا القواعدِ النيتروجينيَّةِ وفقًا لتركيبها الحلقيّ.

القواعدُ النيتروجينيّةُ

السكّرُ والمجموعةُ الفوسفاتيّةُ متطابقانِ في كلِّ نيوكليوتيدِ DNA. إلا أنه يمكنُ للقاعدةِ النيتروجينيَّةِ أن تكونَ أحدَ الأنواعِ المختلفةِ الأربعة: *الثايمين Thymine*، أو *السايتوسين Cytosine*، أو *الأدينين Adenine*، أو *الكوانين Guanine*. إن القواعدَ النيتروجينيَّةَ وتراكيبَها الكيميائيّةَ الحلقيّةَ الشكل، مبيّنةٌ في الشكل 8-6. وفي أغلبِ الأحيانِ، تُمثَّلُ كلٌّ من القواعدِ النيتروجينيّةِ بالحرفِ الأوّلِ من اسمِها: T للثايمين، C للسايتوسين، A للأدينين، و G للكوانين.

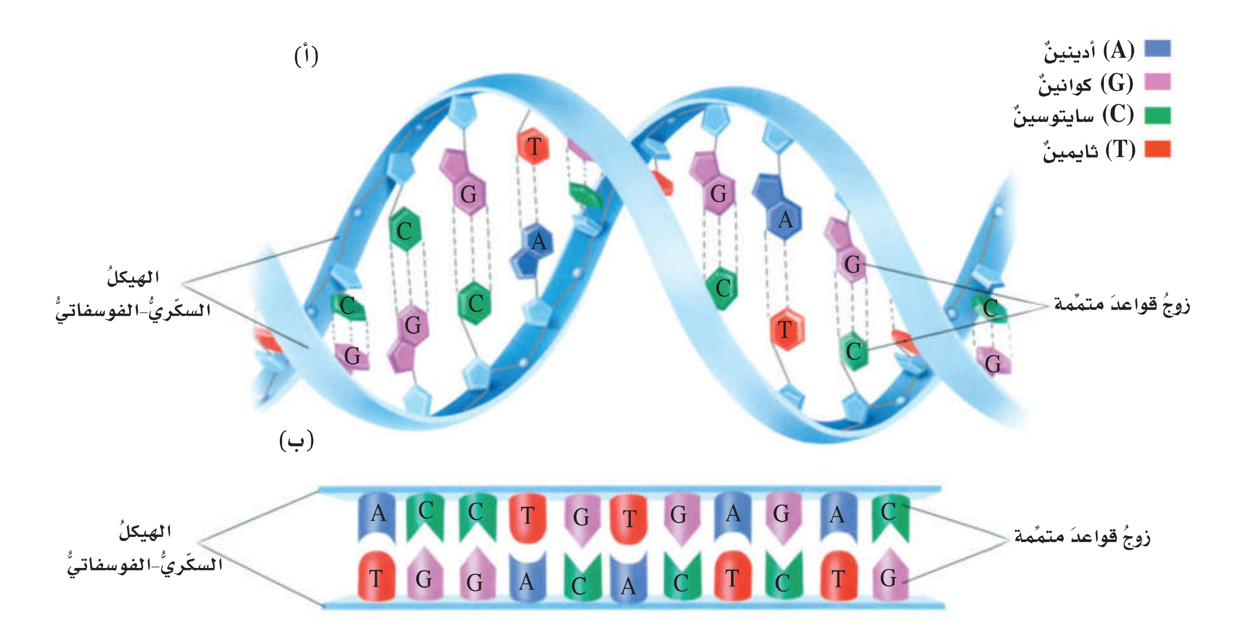
القواعدُ النيتروجينيَّةُ ذاتُ الحلقتين المكوَّنتين من ذرّاتِ الكربونِ والنيتروجين، كالأدينينِ والكوانين، تسمّى **البيوريناتِ Purines**. أما القواعدُ النيتروجينيَّةُ ذاتُ الحلقةِ الواحدةِ المكوّنةِ من ذرّاتِ الكاربونِ والنيتروجين، كالسايتوسينِ والثايمين، فتسمّى **البيريميديناتِ Pyrimidines**.

القواعدُ النيتروجينيَّةُ المتمِّمةُ

في عامِ 1949، لاحظَ عالمُ الكيمياءِ الأحيائيَّةِ الأميركيُّ إيروين شاركاف Erwin Chargaff أن النسبةَ المئويّةَ للأدينين تعادلُ النسبةَ المئويّةَ للثايمين، كما أن النسبةَ المئويّةَ للجوانين تعادلُ النسبةَ المئويّةَ للسايتوسين في DNA لمجموعةٍ متنوّعةٍ من الكائناتِ الحيّةِ. ساهمتْ هذه الملاحظةُ في فهمِ تركيبِ DNA، لأنها بينتْ أن القواعدَ النيتروجينيّةَ تزدوجُ وفقًا **لقوانينِ ازدواجِ القواعدِ Base-pairing rules**. ففي DNA يرتبطُ السايتوسينُ الموجودُ في إحدى السلسلتين مع الكوانينِ الموجودِ في السلسلةِ المقابلةِ، وكذلك هي الحالُ بين الأدينين والثايمين، الشكلُ 8-7. تسمى أزواجُ القواعدِ هذه **أزواجَ القواعدِ المتمِّمةِ Complementary base pairs**. لاحظْ أن كلَّ زوجٍ من القواعدِ المتمِّمةِ يحتوي على بيورينٍ واحدٍ ثنائيِّ الحلقةِ، وعلى بيريميدينٍ واحدٍ أحاديِّ الحلقةِ.

نتيجةً لقوانينِ ازدواجِ القواعدِ النيتروجينيَّةِ، يكونُ ترتيبُ القواعدِ في سلسلةٍ واحدةٍ من جزيءِ DNA متمِّمًا لترتيبِ القواعدِ في السلسلةِ المقابلةِ. مثلاً، إذا كانت سلسلةُ DNA ذاتَ الترتيبِ ATTC، فإن السلسلةَ الأخرى يجبُ أن تكونَ ذاتَ التتابعِ المتمِّمِ TAAG. يسمّى تتابعُ القواعدِ النيتروجينيّةِ في سلسلةٍ من DNA **تتابعَ القواعدِ Base sequence**.

إن ازدواجَ القواعدِ المتمِّمةِ مهمٌّ في تركيبِ DNA وفي وظيفتِهِ لسببين: أوّلاً، لأن الروابطَ الهايدروجينيّةَ بين أزواجِ القواعدِ تساعدُ على تماسكِ سلسلتَيْ جزيءِ DNA معًا. ثانيًا، لأن الطبيعةَ المتمِّمةَ لـ DNA تساهمُ في تفسيرِ كيفيَّةِ تضاعفِ DNA قبلَ انقسامِ الخليَّةِ، إذ يمكنُ لإحدى سلسلتَيْ جزيءِ DNA أن تعملَ كقالبٍ لبناءِ سلسلةٍ متمِّمةٍ جديدةٍ.



الشكل 7-8

(أ) إن الحلزونَ المزدوجَ لـ DNA يشبهُ سُلَّمًا لولبيًّا، (ب) إلا أنه يصوَّرُ غالبًا على شكلِ سُلَّمٍ مستقيم وذلك لإظهارِ أزواجِ القواعدِ النيتروجينيَّةِ بشكلٍ أسهلَ.

نماذجُ DNA

غالبًا ما يُبسَّطُ تركيبُ DNA عند رسمِهِ أو عند صنعِ نموذجٍ عنهُ. مثلاً، غالبًا ما يُصوَّرُ الحلزونُ المزدوجُ لـ DNA بشكلِ سُلَّمٍ مستقيم، الشكلُ 7-8 ب. يُرسَمُ الهيكلُ السكّريُّ-الفوسفاتيُّ (جانبا السُّلَّم) على شكلِ خطٍّ مستقيمٍ بحيثُ تكونُ أزواجُ القواعدِ النيتروجينيَّةِ (درجاتُ السلَّم) بين سلسلتَي DNA أسهلَ للرؤية. لاحظْ أن تبسيطَ تركيبِ DNA يبرزُ أزواجَ القواعدِ المتمِّمةِ في كلٍّ من نيوكليوتيداتِ DNA. في بعضِ الحالاتِ، يبسَّطُ تركيبُ DNA أكثرَ، وذلك بكتابةِ الحرفِ الأوّلِ فقط من كلِّ قاعدةٍ نيتروجينيَّةٍ في نيوكليوتيداتِ DNA. مثلاً، يمكنُ أن يُمَثَّلَ DNA الظاهرُ في الشكلِ 7-8 ب على النحوِ التالي:

A C C T G T G A G A C
T G G A C A C T C T G

مراجعةُ القسمِ 2-8

1. ما الأجزاءُ الثلاثةُ للنيوكليوتيد؟
2. حدِّدْ مواقعَ الروابطِ التساهميَّةِ والروابطِ الهايدروجينيَّةِ في جزيءِ DNA.
3. لماذا تعتبرُ سلسلتا الحلزونِ المزدوجِ لـ DNA متمِّمتين؟
4. ما قوانينُ ازدواجِ القواعدِ النيتروجينيَّةِ في DNA؟
5. كيفَ تتلاءمُ قوانينُ ازدواجِ القواعدِ النيتروجينيَّةِ مع تركيبِ DNA؟

تفكيرٌ ناقدٌ

6. إذا كانَ ممكنًا استخراجُ 2.2 بيكوكرام من DNA من عددٍ معيّنٍ من خلايا الإنسانِ العضليّة، فما كميَّةُ DNA، بالبيكوكرام، التي يمكنُ استخراجُها من العددِ نفسِه من خلايا الإنسانِ المشيجيَّة؟ وضِّحْ إجابتَك.
7. استخدمْ قوانينَ ازدواجِ القواعدِ النيتروجينيَّةِ لتحديدِ تتابعِ القواعدِ المتمِّمِ لهذا التتابع: C-G-A-T-T-G.
8. إذا كانتْ نسبةُ الثايمينِ في DNA نباتٍ 20%. فما النسبةُ المئويَّةُ للكوانينِ الموجودِ في DNA هذا النباتِ؟ وضِّحْ إجابتَك.

القسم

3-8

النواتج التعليمية

▲ يلخصُ عملية تضاعفِ DNA.

● يحدّدُ دورَ الأنزيماتِ في تضاعفِ DNA.

■ يوضحُ كيف يوجّهُ ازدواجُ القواعدِ النيتروجينيةِ تضاعفِ DNA.

◆ يصفُ كيف يتمُّ تصحيحُ الأخطاءِ أثناءَ تضاعفِ DNA.

تضاعفُ DNA

أدّى اكتشافُ واتسون وكريك للتركيبِ الحلزونيِّ المزدوجِ لـ DNA إلى حماسٍ كبيرٍ لدى المجتمعِ العلميِّ. فقد أدركَ العلماءُ أن هذا النموذجَ قد يفسّرُ عمليّةَ تضاعفِ DNA بشكلٍ دقيقٍ كلما انقسمتِ الخليّةُ. وهذه ميزةٌ رئيسةٌ للمادّةِ الوراثيّةِ.

كيفَ يحدثُ تضاعفُ DNA

إن **تضاعفَ DNA Replication DNA** هو العمليَّةُ التي يُنسَخُ فيها DNA في الخليَّةِ قبلَ انقسامِها الخيطيِّ، أو انشطارِها الاختزاليِّ أو انشطارِها الثنائي. أثناءَ تضاعفِ DNA، تنفصلُ سلسلتا نيوكليوتيداتِ الحلزونِ المزدوجِ الأصليِّ على طولِهما. وبما أنهما متمِّمتان، فإن كلاً منهما ستعملُ كقالبٍ لتكوينِ سلسلةٍ متمِّمةٍ جديدةٍ. بعد التضاعفِ، ينفصلُ جزيئا DNA الثنائيّا السلسلةِ والمتطابقان، فينتقلانِ إلى الخليَّتينِ الجديدتينِ اللتينِ تكوَّنتا أثناءَ الانقسامِ الخلويِّ، الشكلُ 8-8.

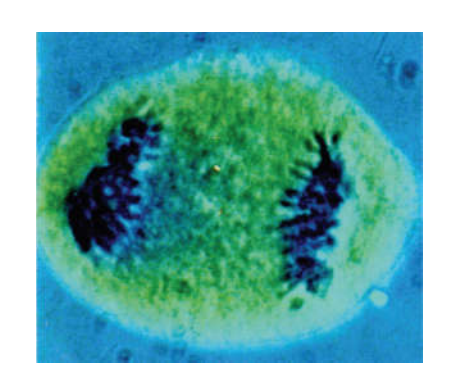
خطواتُ تضاعفِ DNA

إن عمليَّةَ تضاعفِ DNA مبيَّنةٌ في الشكلِ 8-9. في الخطوةِ **1**، تفصلُ أنزيماتٌ، تسمّى **أنزيماتُ الهليكيز Helicases**، سلسلتي DNA. تنتقلُ أنزيماتُ الهليكيزِ على طولِ جزيءِ DNA، فتفكُّ الروابطَ الهايدروجينيَّةَ بين القواعدِ النيتروجينيَّةِ المتمِّمةِ. تسمحُ هذه العمليّةُ لسلسلتَيْ DNA أن تنفصلا الواحدةُ عن الأخرى. إن المنطقةَ ذاتَ شكلِ الحرفِ Y، والتي تنتجُ عن انفصالِ السلسلتين، تسمّى **شوكةَ التضاعفِ Replication fork**.

أثناءَ الخطوةِ **2**، تقومُ **أنزيماتُ بلمرةِ DNA Polymerases DNA** بإضافةِ نيوكليوتيداتٍ متمِّمةٍ، موجودةٍ داخلَ النواةِ، إلى كلِّ سلسلةٍ أصليّةٍ. أثناءَ إضافةِ النيوكليوتيداتِ إلى السلسلةِ المتكوِّنةِ حديثًا، تتكوَّنُ روابطُ تساهميّةٌ بين النيوكليوتيداتِ المتجاورةِ. تتكوَّنُ الروابطُ التساهميَّةُ بين سكّرِ الرايبوزِ المنقوصِ الأوكسجين للنيوكليوتيدِ وبين المجموعةِ الفوسفاتيّةِ للنيوكليوتيدِ التالي على السلسلةِ الناميةِ، وتتكونُ الروابطُ الهيدروجينيّةُ بين القواعدِ النيتروجينيّةِ المتمِّمةِ، الموجودةِ على السلسلتينِ الأصليَّةِ والجديدةِ.

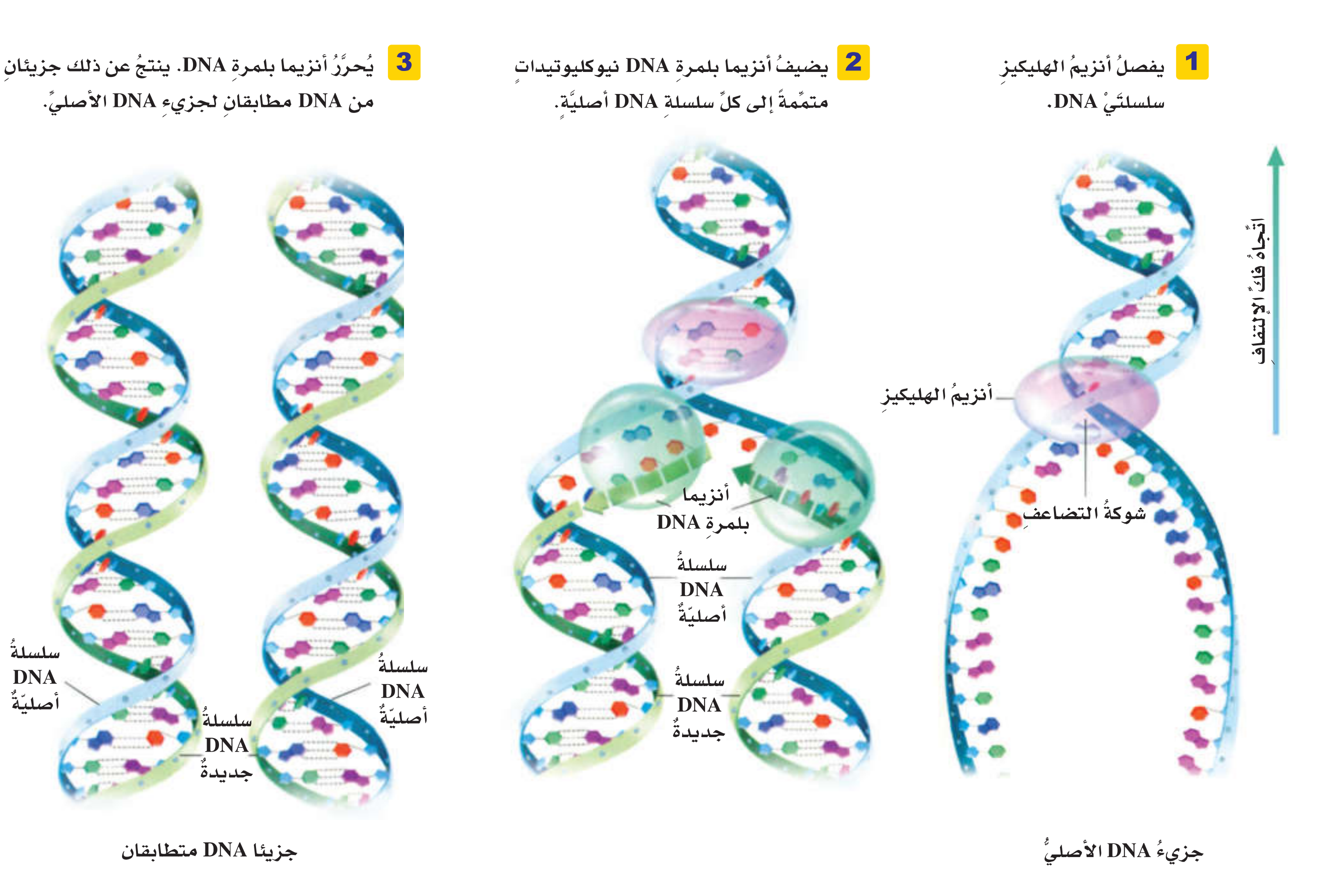
في الخطوةِ **3**، تنهي أنزيماتُ بلمرةِ DNA عمليَّةَ تضاعفِ DNA وتنفصلُ عنهُ. ينتجُ عن ذلكَ جزيئانِ منفصلانِ ومتطابقانِ من DNA، وجاهزانِ للانتقالِ إلى خلايا جديدةٍ خلالَ الانقسامِ الخلويِّ.

في كلِّ حلزونِ DNA مزدوجٍ جديدٍ، تكونُ سلسلةٌ واحدةٌ مأخوذةً من الجزيءِ الأصليِّ، بينما تكونُ السلسلةُ الأخرى جديدةً. يسمّى هذا النوعُ من التضاعفِ **التضاعفَ نصفَ المحافظ Semi-conservative replication**، لأن كلَّ جزيءٍ جديدٍ من DNA، احتفظَ بسلسلةٍ واحدةٍ (أو نصفٍ) من سلسلتَيْ DNA الأصليَّتينِ.



الشكل 8-8

قبل أن تنقسمَ الخليَّةُ، يُنسَخُ DNA عبرَ عمليَّةٍ تسمّى تضاعفَ DNA. تنتقلُ نسخةٌ واحدةٌ عن كلِّ كروموسوم إلى كلِّ خليَّةٍ جديدةٍ. في الصورةِ الفوتوغرافيَّةِ هذه، كانت الكروموسوماتُ (الظاهرةُ على شكلٍ عصيٍّ زرقاءَ عند كلِّ جانبٍ من الخليَّةِ) في الطورِ الانفصاليِّ أثناءَ الانقسامِ الخلويِّ.



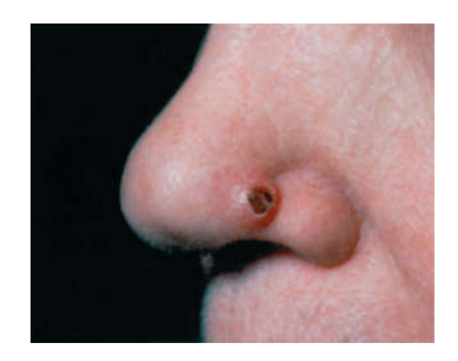
الشكل 9-8
خطواتُ تضاعفِ DNA.

الأحداثُ عند شوكةِ التضاعف

يُبنى DNA في اتِّجاهٍ مختلفٍ في كلِّ سلسلةٍ، كما تشيرُ الأسهمُ في جوارِ شوكةِ التضاعفِ في الخطوةِ 2، من الشكل 8-9. فيما تنتقلُ شوكةُ التضاعفِ على DNA الأصليِّ، تسيرُ عمليَّةُ بناءِ سلسلةٍ واحدةٍ بالترافقِ مع حركةِ شوكةِ التضاعفِ. أما البناءُ الذي يتمُّ في السلسلةِ الأخرى فيسيرُ في الاتِّجاهِ المعاكسِ، بعيدًا عن شوكةِ التضاعفِ، مما يتركُ ثغراتٍ في السلسلةِ التي تمَّ بناؤها حديثًا. ولاحقًا، يربطُ بين الثغراتِ أنزيمٌ يسمّى *أنزيمَ ربطِ DNA، DNA Ligase*.

الأخطاءُ في تضاعفِ DNA

تتمُّ عمليَّةُ تضاعفِ DNA، عادةً، بشكلٍ دقيقٍ جدًّا. يحدثُ خطأٌ واحدٌ فقط تقريبًا لدى إضافةِ كلِّ مليارٍ من أزواجِ النيوكليوتيداتِ. ما هو السببُ في تحقيقِ هذه الدقّةِ؟ لدى أنزيماتِ بلمرةِ DNA وظائفُ إصلاحٍ تقومُ بالتدقيقِ في قراءةِ DNA بنفسِ الطريقةِ التي يمكنُ لزميلٍ أن يستخدمَها للتدقيقِ في ورقةِ عملِ طالبٍ، بحثًا عن أخطاءٍ في التهجئةِ. مثلاً، إذا ازدوجَ أدينينٌ مع سايتوسينٍ بدلاً من ثايمين، فإن أنزيماتِ البلمرةِ يمكنُ أن تصلحَ الخطأَ بإزالةِ السايتوسينِ الذي أضيفَ بصورةٍ خاطئةٍ، واستبدالِ الثايمينِ بهِ.



الشكل 8-10

يمكنُ لسرطانِ الجلد أن ينتجَ عن طفرة DNA في خليَّةٍ جلديَّةٍ تلقّتْ كميَّةً كبيرةً من الأشعة فوقَ البنفسجيَّةِ من ضوءِ الشمس. يمكنُ خفضُ التعرّضِ للأشعةِ الضارةِ الصادرةِ عن الشمس عن طريقِ استخدامِ مستحضرِ الوقايةِ من الشمس.

عندما تحدثُ أخطاءٌ في عمليَّةِ تضاعفِ DNA، يختلفُ تتابعُ قواعدِ DNA المكوّنِ حديثًا عن تتابعِ قواعدِ DNA الأصلي. يسمّى التغيُّرُ في تتابعِ النيوكليوتيداتِ في جزيءِ DNA **طفرةً Mutation**. يمكنُ للطفراتِ أن تكونَ ذاتَ تأثيراتٍ خطيرةٍ في وظيفةِ جينٍ مهمٍّ، وأن تُخِلَّ بالتالي بوظيفةٍ مهمّةٍ للخليَّةِ.

بعضُ الأخطاءِ لا يتمُّ إصلاحُها، بل يمكنُ، إضافةً إلى ذلك، للموادِّ الكيميائيَّةِ وللأشعَّةِ فوقِ البنفسجيَّةِ الآتيةِ من الشمسِ أن تلحقَ الضررَ بـ DNA. يمكنُ لبعضِ الطفراتِ أن تؤدّيَ إلى مرضِ السرطانِ، كما في الشكل 8-10. بالتالي، إن الآليَّةَ الفعّالةَ في إصلاحِ DNA المصابِ بضررٍ هي ذاتُ أهميّةٍ بالغةٍ في بقاءِ الكائنِ الحيِّ على قيدِ الحياةِ.

تضاعفُ DNA ومرضُ السرطانِ

إن تضاعفَ DNA عمليّةٌ دقيقةٌ تُنْقَلُ عبرَها معلوماتٌ وراثيّةٌ من خليّةٍ إلى أخرى على مدى آلافِ الأجيالِ. إنها توضحُ أيضًا كيف يمكنُ أن تنشأَ الطفراتُ، وتؤدّيَ بالتالي إلى ظهورِ خلايا وكائناتٍ حيّةٍ محوّرةٍ. أحيانًا تسمحُ التغيُّراتُ للكائناتِ الحيّةِ بالبقاءِ على قيدِ الحياةِ وبالتكاثرِ بشكلٍ أفضلَ، فيتزايدُ التنوُّعُ في الجماعةِ الأحيائيَّةِ على مدى عدّةِ أجيالٍ. وفي بعضِ الأحيانِ، يمكنُ لطفراتٍ غيرِ صالحةٍ أن تتسبَّبَ في أمراضٍ مثلِ مرضِ السرطانِ. مثلاً، يمكنُ للطفراتِ التي تصيبُ الجيناتِ التي تتحكّمُ في كيفيّةِ انقسامِ الخليَّةِ أن تؤدّيَ إلى تكوينِ كتلةِ خلايا غيرِ طبيعيّةٍ تسمّى *ورمًا Tumor*. إن دراسةَ تضاعفِ DNA يشكّلُ طريقًا واعدًا لفهمِ ومعالجةِ أنواعٍ مختلفةٍ من أمراضِ السرطانِ عند الإنسانِ.

مراجعةُ القسمِ 8-3

1. صفْ ما يحدثُ عند شوكةِ تضاعفِ DNA أثناءَ التضاعفِ.
2. ما دورُ أنزيماتِ الهليكيز وأنزيماتِ بلمرةِ DNA أثناءَ تضاعفِ DNA؟
3. لماذا يعتبرُ تضاعفُ DNA عمليّةَ نصفَ محافظةٍ؟
4. كيف يتمُّ إصلاحُ أخطاءِ التضاعفِ؟

تفكيرٌ ناقد

5. لماذا يوجدُ أنزيما بلمرةِ DNA عند كلِّ شوكةِ تضاعفٍ؟
6. ما أهميَّةُ أنزيماتِ إصلاحِ DNA في بقاءِ الكائنِ الحيِّ على قيدِ الحياةِ؟
7. هل الطفرةُ التي تحدثُ أثناءَ تكوُّنِ خليَّةِ البيضةِ أو الحيوانِ المنويِّ أكثرُ أهمّيَّةً من الطفرةِ التي تحدثُ في خليَّةٍ جسميَّةٍ؟ وضّحْ إجابتَكَ.

سرطانُ الجلدِ وإصلاحُ DNA

أحيانًا، لا يتمُّ اصلاحُ الأخطاءِ التي تحدثُ أثناءَ تضاعفِ DNA بواسطةِ أنزيماتِ إصلاحِ DNA. يمكنُ لهذه الأخطاءِ التي لم يتمَّ إصلاحُها أن تؤديَ إلى حدوثِ طفراتٍ. يمكنُ لمرضِ السرطانِ أن ينتجَ عندحدوثِ الطفراتِ في الجيناتِ التي تتحكَّمُ في الانقسامِ الخلويِّ والنموِّ الخلويِّ. يأملُ العلماءُ في التوصُّلِ إلى تطويرِ علاجاتٍ لأنواعٍ مختلفةٍ من الأمراضِ السرطانيَّةِ، وحتى إلى شفائِها، عبرَ دراسةِ تضاعفِ DNA وإصلاحِهِ.

الأشعّةُ فوقُ البنفسجيّةِ وسرطانُ الجلدِ

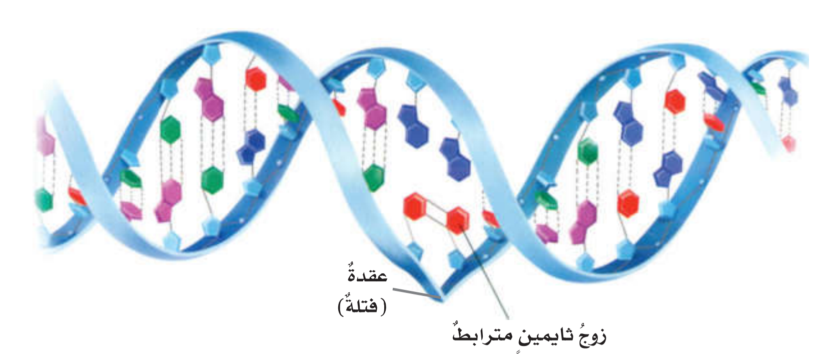
إن الأشعّةَ فوقَ البنفسجيّةِ، هي الجزءُ الأكثرُ طاقةً من ضوءِ الشمسِ، وهي السببُ الرئيسُ للطفراتِ التي تؤدّي إلى مرضِ سرطانِ الجلدِ، إن سرطانَ الجلدِ هو أكثرُ أنواعِ السرطانِ شيوعًا في الكثيرِ من البلدانِ.

عندما تصلُ الأشعّةُ فوقُ البنفسجيّةِ إلى DNA داخلَ خليّةٍ جلديّةٍ، يمكنُ أن ترتبطَ قواعدُ الثايمينِ المتجاورةِ، الموجودةِ على السلسلةِ نفسِها، برابطةٍ تساهميَّةٍ، كما في الشكلِ أدناهُ. يتمُّ عادةً تعرُّفُ أزواجِ الثايمينِ المترابطةِ بواسطةِ أنزيماتٍ تنتقلُ على طولِ سلسلةِ DNA، لأن أزواجَ الثايمينِ تتسبَّبُ في حدوثِ عقدةٍ (فتلة) Kink في DNA، كما في الشكلِ أدناهُ. يمكنُ لأزواجِ الثايمينِ التي لا يتمُّ إصلاحُها أثناءَ تضاعفِ DNA أن تتسَّبَ في طفراتِ الجيناتِ التي تتحكَّمُ في الانقسامِ الخلويِّ. ويمكنُ للطفرةِ أن تجعلَ الخليّةَ الجلديّةَ خليّةً سرطانيّةً.

أنزيماتُ إصلاحِ DNA وعلاجاتُ سرطانِ الجلدِ

بعضُ الكائناتِ الحيّةِ لا تصابُ بسرطانِ الجلدِ. أحدُ الأسبابِ هو امتلاكُ تلك الكائناتِ الحيّةِ أنزيمًا لإصلاحِ DNA يسمّى أنزيمَ *الفوتولاييز* *Photolyase* الذي ينشطُ بواسطةِ الضوءِ، فيتمكَّنُ من إصلاحِ أزواجِ الثايمينِ التي تنتجُ عن الأشعّةِ فوقِ البنفسجيّةِ. وتستطيعُ خلايا جلدِ الإنسانِ أن تصلحَ أزواجَ الثايمينِ التي نشأتْ عن تأثيرِ الأشعّةِ فوقِ البنفسجيّةِ عبرَ عمليّةٍ معقّدةٍ تسمّى *الإصلاحَ الاستئصاليَّ* *Excision repair*، التي تسهمُ فيها أنزيماتٌ أخرى. إلا أن أنزيمَ الفوتولاييز يَستخدمُ آليّةً مباشرةً وفعّالةً أكثرَ في إصلاحِ DNA من آليّةِ الإصلاحِ الاستئصاليِّ. لقد طوّرَ العلماءُ مستحضرًا للوقايةِ من الشمسِ يحتوي على أنزيمِ الفوتولاييز بهدفِ إصلاحِ الأضرارِ التي تلحقُ بـ DNA نتيجةَ الأشعّةِ فوقِ البنفسجيّةِ عندما يصابُ شخصٌ بحروقٍ من أشعةِ الشمسِ.

يرغبُ بعضُ الباحثينَ في محاولةِ استخدامِ المعالجةِ الجينيّةِ *Gene therapy*، وذلك بإدخالِ الجينِ المسؤولِ عن إنتاجِ أنزيمِ الفوتولاييز في أجسامِ الأشخاصِ المهدّدينَ بخطرِ الإصابةِ بسرطانِ الجلدِ. المعالجةُ الجينيّةُ تقنيّةٌ يتمُّ من خلالِها إزالةُ جينٍ مصابٍ بخللٍ وإدخالِ جينٍ سليمٍ مكانَهُ. يمكنُ للدراساتِ التي تجري حاليًّا حولَ أنزيماتِ إصلاحِ DNA أن تساعدَ على تطويرِ المعالجةِ الجينيّةِ، وتطويرِ أنواعٍ أخرى من معالجاتِ الأمراضِ السرطانيّةِ عند الإنسانِ.



يمكنُ للضررِ الذي يلحقُ بـ DNA والذي لم يتمَّ إصلاحُهُ أن يمنعَ النسخَ الصحيحَ لـ DNA، وأن يؤديَ إلى نشوءِ طفراتٍ. أحدُ الأمثلةِ على الضررِ اللاحقِ بـ DNA هو الترابطُ التساهميُّ بين قاعدتَيْ ثايمين ما يؤدّي إلى تشكيلِ زوجِ ثايمين.

القسم

4-8

النواتج التعليمية

- ▲ يلخِّصُ انتقالَ المعلوماتِ الوراثيَّةِ في الخلايا من DNA إلى البروتين.
- ● يقارنُ بين تركيبِ RNA وتركيبِ DNA.
- ■ يلخِّصُ عمليَّةَ النسخِ.
- ◆ يصفُ أهميَّةَ الشيفرةِ الوراثيَّةِ.
- ▲ يقارنُ بين دورِ mRNA و rRNA و tRNA في عمليَّةِ الترجمةِ.
- ● يحدِّدُ أهميَّةَ الجينومِ البشريِّ.

بناءُ البروتيناتِ

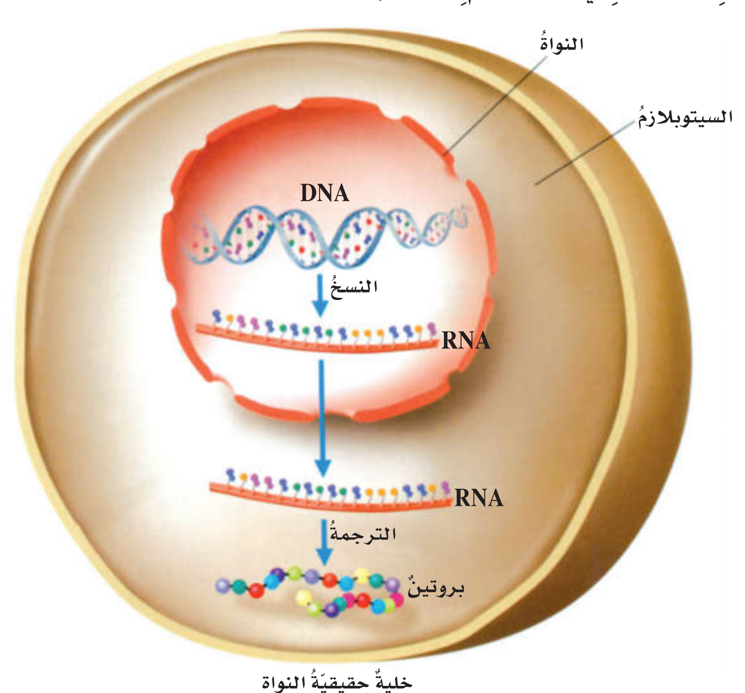
تتحدَّدُ الصفاتُ، كلونِ الشعرِ بشكلٍ كبيرٍ من قبلِ عواملَ وراثيَّةٍ. لكن كيف يمكنُ لوراثةِ أَلِّيلٍ من جينٍ معيّنٍ أن تؤديَ إلى ظهورِ لونٍ معيَّنٍ للشعرِ؟ يساعدُ تركيبُ DNA على تفسيرِ كيفيَّةِ عملِ الجيناتِ في بناءِ البروتيناتِ التي تحدِّدُ السماتِ عند الكائناتِ الحيَّةِ.

انتقالُ المعلوماتِ الوراثيَّةِ

الجينُ هو قطعةُ DNA على كروموسوم، مسؤولةٌ عن صفةٍ وراثيَّةٍ. مثلاً، إنَّ جينًا موجودًا في خلايا بصلةِ الشعرِ يحدِّد لونَ شعرِ الشخص. يوجِّهُ هذا الجينُ عمليَّةَ تكوينِ البروتينِ، الذي يسمّى *ميلانين Melanin* (صبغة)، في خلايا بصلةِ الشعرِ، عبر وسيطٍ هو **الحمضُ النوويُّ الرايبوزي Ribonucleic acid** أو **RNA**.

تتضمَّنُ عمليَّةُ بناءِ البروتيناتِ خطوتين رئيستين: عمليَّةَ النسخِ وعمليَّةَ الترجمةِ. أثناءَ عمليَّةِ **النسخ Transcription**، يعملُ DNA كقالبٍ لبناءِ RNA. في **الترجمة Translation**، يوجِّهُ RNA عمليَّةَ إنتاجِ البروتيناتِ. إن عمليَّةَ إنتاجِ البروتيناتِ، المبنيَّةَ على معلوماتٍ موجودةٍ في DNA، والتي ينفِّذُها RNA، تسمّى **بناءَ البروتينات Protein synthesis**، أو *"التعبيرَ الجينيَّ" Gene expression*. هذا المفهومُ الرئيسُ يمكنُ أن نعبِّرَ عنه على النحوِ التالي: DNA ←RNA ← بروتين.

يلخِّصُ الشكلُ 8-11 انتقالَ المعلوماتِ الوراثيَّةِ في خليَّةٍ حقيقيَّةِ النواةِ. تقومُ البروتيناتُ بعملٍ مهمٍّ في الخلايا، كحمايةِ الجسمِ من الإصابةِ بالأمراضِ المُعديةِ، ونقلِ الأكسجينِ في خلايا الدمِ الحمراءِ.



الشكل 8-11
ملخَّصُ عمليَّةِ بناءِ البروتين في الخليَّةِ.

RNA

DNA

(A) أدنينٌ
(G) كوانينٌ
(C) سايتوسينٌ
(T) ثايمينٌ
(U) يوراسيلٌ

الرايبوزُ

(الرايبوزُ منقوصُ الأوكسجينِ)

الشكل 8-12

إن تركيبَ RNA يختلفُ عن تركيبِ DNA. كلٌّ واحد من الأنواعِ المختلفةِ الرئيسةِ لـ RNA - mRNA، tRNA، و rRNA - يؤدّي دورًا مختلفًا خلالَ بناءِ البروتينات.

تركيبُ RNA ووظائفُهُ

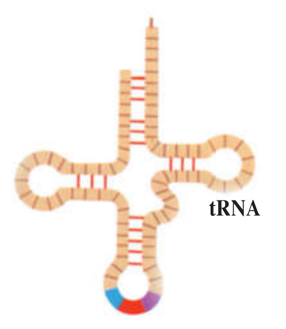
إن RNA، مثلَ DNA، حمضٌ نوويٌّ مكوّنٌ من نيوكليوتيداتٍ، لكنَّ تركيبَ RNA يختلفُ عن تركيبِ DNA في أربعةِ أوجهٍ، الشكلُ 8-12. أولاً، يحتوي RNA على سُكَّرِ **الرايبوزِ Ribose**، وليس على سُكَّرِ الرايبوزِ منقوصِ الأكسجينِ الموجودِ في DNA. ثانيًا، يحتوي RNA على القاعدةِ النيتروجينيَّةِ يوراسيل *Uracil*، بدلاً من القاعدةِ النيتروجينيّةِ ثايمينِ الموجودةِ في DNA. ثالثًا، يتكوّنُ RNA عادةً من سلسلةٍ واحدةٍ وليس من سلسلتينِ كما في DNA. إلاّ أن بعضَ المناطقِ ضمنَ جزيءِ RNA الأحاديِّ السلسلة، تنثني لتشكِّلَ أقسامًا ثنائيّةَ السلسلة. ففي المناطقِ الثنائيَّةِ السلسلة، يرتبطُ كوانينٌ مع سايتوسين، ويرتبطُ يوراسيلٌ مع أدينينٍ. رابعًا، إن RNA هو عادةً أقصرُ بكثيرٍ من DNA (يبلغُ طولُهُ طولَ جينٍ واحدٍ تقريبًا)، في حين أن جزيءَ DNA هو عادةً طويلٌ ويحتوي على المئاتِ أو الآلافِ من الجينات.

أنواعُ RNA

يوجدُ لدى الخلايا ثلاثةُ أنواعٍ رئيسةٍ من RNA، الشكلُ 8-13. يؤدّي كلُّ نوعٍ من RNA دورًا مختلفًا في بناءِ البروتين. النوعُ الأوَّلُ هو **RNA الرسولُ (mRNA) Messenger RNA**، وهو جزيءُ RNA أحاديِّ السلسلةِ الذي ينقلُ التعليماتِ من جينٍ معيَّنٍ لبناءِ بروتينٍ معيّن. في الخلايا الحقيقيّةِ النواة، ينقلُ mRNA رسالةً وراثيَّةً من DNA الموجودِ في النواةِ إلى الرايبوسوماتِ الموجودةِ في السيتوسول. النوعُ الثاني هو **RNA الرايبوسوميِّ (rRNA) Ribosomal RNA**، وهو جزءٌ من تركيبِ الرايبوسومات. الرايبوسوماتُ عضيّاتٌ في الخليّةِ حيثُ يتمُّ بناءُ البروتين. الرايبوسوماتُ مكوَّنةٌ من rRNA ومن العديدِ من البروتينات، الشكلُ 8-13. النوعُ الثالثُ هو **RNA الناقلُ (tRNA) Transfer RNA**، الذي ينقلُ الأحماضَ الأمينيَّةَ إلى الرايبوسومِ لبناءِ البروتين. إن tRNA مكوَّنٌ بكاملِهِ من نيوكليوتيداتٍ مترابطةٍ، بالرغمِ من ذلك تمَّ إبرازُ ثلاثةٍ منها فقط في الشكلِ 8-13.

mRNA





الشكل 8-13

يختلفُ كلٌّ من الأنواعِ الثلاثةِ لـ RNA عن الآخرِ من حيثُ تركيبُه. يُرسَمُ RNA الرسولُ (mRNA) عادةً كسلسلةٍ مستقيمةٍ نسبيًا. RNA الرايبوسوميُّ (rRNA) مبيَّنٌ كجزءٍ من تركيبِ الرايبوسوم. RNA الناقلُ (tRNA) يظهرُ بتركيبٍ ثنائيِّ البعد، ويُبَيَّنُ عادةً بإبرازِ ثلاثةٍ من نيوكليوتيداتِهِ فقط.

النسخُ

النسخُ عمليةٌ يتمُّ من خلالِها إعادةُ كتابةِ التعليماتِ الوراثيَّةِ في جينٍ معيّنٍ لجزيءِ RNA. يتمُّ النسخُ في أنويةِ الخلايا حقيقيَّةِ النواةِ، وفي منطقةِ السيتوبلازمِ التي تحتوي على DNA في الخلايا بدائيَّةِ النواةِ.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

النسخُ

Transcription

من اللاتينيَّةِ scribere وتعني «الكتابة»، و trans وتعني «عبرَ».

خطواتُ النسخِ

يتمُّ النسخُ عبر ثلاثِ خطواتٍ، الشكلُ 8-14. ففي الخطوةِ **1**، يرتبطُ **أنزيمُ بلمرةِ RNA Polymerase RNA**، وهو أنزيمٌ يحفِّزُ إنتاجَ RNA من قالبِ DNA في موقعِ الابتداءِ. **موقعُ الابتداءِ Promoter** هو تتابُعٌ معيّنٌ من نيوكليوتيداتِ DNA، حيث يرتبطُ أنزيمُ بلمرةِ RNA ويبدأُ النسخُ. بعدَ أن يرتبطَ أنزيمُ بلمرةِ RNA بموقعِ الابتداءِ ينفكُّ التفافُ سلسلتَيْ DNA وتنفصلانِ.

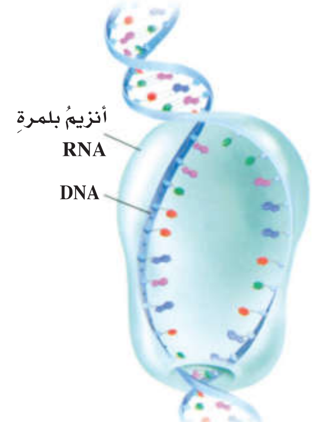
في الخطوةِ **2**، يضيفُ أنزيمُ بلمرةِ RNA نيوكليوتيداتِ RNA الحرّةَ إلى جانبِ النيوكليوتيداتِ الموجودةِ في إحدى سلسلتي DNA. السلسلةُ التي تَنتِجُ عن ذلك هي جزيءُ RNA. وكما في تضاعفِ DNA، يحدِّدُ ازدواجُ القواعدِ النيتروجينيَّةِ المتمّمةِ تتابعَ النيوكليوتيداتِ في RNA الذي أُنتِجَ حديثًا. مثلاً، إذا كان تتابعُ القواعدِ في سلسلةِ DNA هو ATCGAC، فإن تتابعَ القواعدِ في سلسلةِ RNA سيكونُ UAGCUG. وعلى خلافِ تضاعفِ DNA، يستخدِمُ النسخُ منطقةً معيَّنةً فقط (جينًا) في إحدى سلسلتَيْ DNA كقالبٍ. وفيما يغادرُ أنزيمُ بلمرةِ RNA هذه المنطقةَ، تلتفُّ سلسلتا DNA مجدَّدًا.

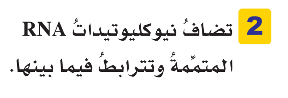
أثناءَ الخطوةِ **3**، يصلُ أنزيمُ بلمرةِ RNA إلى **إشارةِ انتهاءٍ Termination signal**، وهو تتابعٌ معيّنٌ من النيوكليوتيداتِ يحدِّدُ نهايةَ جينٍ معيّنٍ. عند بلوغِ إشارةِ الإيقافِ هذه، أنزيمُ بلمرةِ RNA يحرِّرُ RNA الناتجَ حديثًا و DNA. يمكنُ لـ RNA الذي نتجَ أثناءَ النسخِ أن يكونَ mRNA أو tRNA أو rRNA. والآن، أصبحَ في استطاعةِ RNA الذي أُنتِجَ أن يؤدّيَ وظيفَتَهُ في الخليّةِ، كما أصبحَ في استطاعةِ أنزيمِ بلمرةِ RNA أن ينسخَ جينًا آخرَ.

الشكل 8-14

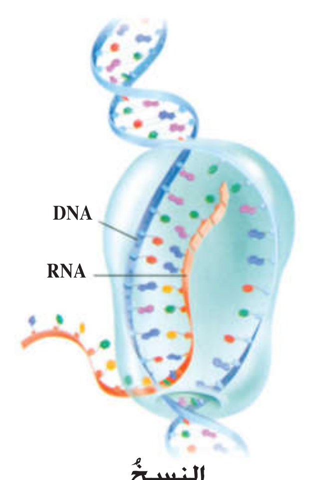
أثناءَ النسخِ، يقرأُ أنزيمُ بلمرةِ RNA إحدى السلسلتين، أي القالبَ. يضيفُ هذا الأنزيمُ نيوكليوتيداتِ RNA متمِّمةً، فيؤدّي ذلك إلى إنتاجِ سلسلةِ RNA.

1 يرتبطُ أنزيمُ بلمرةِ RNA بموقعِ الابتداءِ لجينٍ معيّنٍ. ينفكُّ التفافُ سلسلتَيْ DNA وتنفصلانِ.

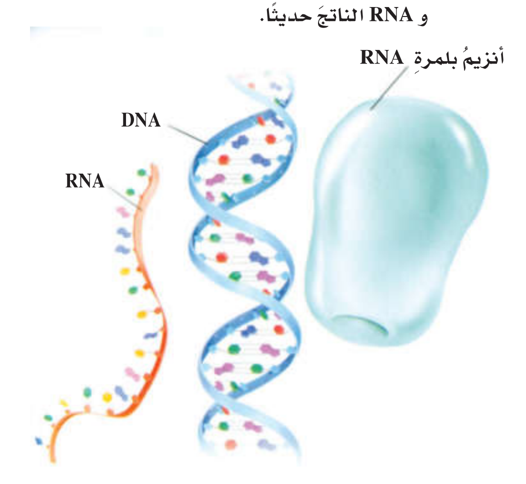




2 تضافُ نيوكليوتيداتُ RNA المتمِّمةُ وتترابطُ فيما بينها.



3 عندما يصلُ أنزيمُ بلمرةِ RNA إلى إشارةِ إنتهاءٍ في DNA، يحرِّرُ الأنزيمُ DNA و RNA الناتجَ حديثًا.



النسخُ

الشيفرةُ الوراثيّةُ

خلالَ عمليّةِ الترجمةِ، تصطفُّ الأحماضُ الأمينيّةُ بناءً على تعليماتِ تتابعِ النيوكليوتيداتِ في mRNA. **الشيفرةُ الوراثيَّةُ Genetic code** وهي المصطلحُ الذي يشيرُ إلى تتابعِ القواعدِ النيتروجينيَّةِ في mRNA التي تحدّدُ تتابعَ الأحماضِ الأمينيَّةِ في البروتيناتِ التي سيتمُّ بناؤها في الرايبوسومات. في الشيفرةِ الوراثيَّةِ، تحدِّدُ ثلاثةُ نيوكليوتيداتٍ متجاورةٍ في mRNA حمضًا أمينيًّا في عديدِ الببتيدِ. كلُّ تتابعٍ لثلاثِ نيوكليوتيداتٍ، في mRNA، يحدّدُ حمضًا أمينيًّا أو يشيرُ إلى بدايةِ أو إيقافِ الترجمةِ، يُطلقُ عليه اسمُ **كودونٍ Codon**.

الجدولُ 8-1 يبيّنُ الكودوناتِ الـ 64 في mRNA والأحماضَ الأمينيَّةَ التي تحدِّدُها هذه الكودوناتُ في معظمِ الكائناتِ الحيّةِ. مثلاً، الكودونُ *GCU* يحدِّدُ حمضًا أمينيًّا هو *الألانين Alanine* في الشيفرةِ الوراثيَّةِ. وتتمُّ ترجمةُ الكودوناتِ إلى أحماضٍ أمينيَّةٍ بالطريقةِ نفسِها في الكائناتِ الحيّةِ جميعِها.

تحدَّدُ بعضُ الأحماضِ الأمينيَّةِ بواسطةِ كودونَيْنِ مختلفين أو أكثرَ، الجدولُ 8-1. غالبًا ما تختلفُ هذه الكودوناتُ، الواحدُ عن الآخر، في نيوكليوتيدٍ واحدٍ فقط، إلا أن الكودونَ الواحدَ لا يحدِّدُ إطلاقًا أكثرَ من حمضٍ أمينيٍّ واحدٍ. هناك كودونٌ خاصٌّ هو AUG يعملُ ككودونِ بدءٍ. *كودونُ البدءِ* هذا، *Start codon*، هو تتابعٌ معيَّنٌ للنيوكليوتيداتِ في mRNA يشيرُ إلى الموقعِ الذي يجبُ أن تبدأ عندهُ الترجمةُ. يحدِّدُ كودونُ البدءِ الحمضَ الأمينيَّ المثيونين. بعضُ تتابعاتِ النيوكليوتيداتِ في mRNA، (UAA، UAG، UGA)، التي تسمّى *كودوناتِ إيقافٍ Stop codons*، لا تحدِّدُ أحماضًا أمينيَّةً، بل تشيرُ إلى نهايةِ الترجمةِ.

الجدولُ 8-1 الكودوناتُ في mRNA

القاعدةُ الأولى	القاعدةُ الثانيةُ U	القاعدةُ الثانيةُ C	القاعدةُ الثانيةُ A	القاعدةُ الثانيةُ G	القاعدةُ الثالثةُ
U	UUU } فنيلُ ألانين	UCU } سيرينٌ	UAU } تايروسينٌ	UGU } سستينٌ	U
	UUC	UCC	UAC	UGC	C
	UUA } ليوسينٌ	UCA	UAA } إيقافٌ	UGA { إيقافٌ	A
	UUG	UCG	UAG	UGG { تربتوفانٌ	G
C	CUU } ليوسينٌ	CCU } برولينٌ	CAU } هستيدينٌ	CGU } آركنينٌ	U
	CUC	CCC	CAC	CGC	C
	CUA	CCA	CAA } كلوتامينٌ	CGA	A
	CUG	CCG	CAG	CGG	G
A	AUU } أيزوليسينٌ	ACU } ثريونينٌ	AAU } أسبرجينٌ	AGU } سيرينٌ	U
	AUC	ACC	AAC	AGC	C
	AUA	ACA	AAA } لايسينٌ	AGA } آركنينٌ	A
	AUG مثيونينٌ (بدءٌ)	ACG	AAG	AGG	G
G	GUU } فالينٌ	GCU } ألانينٌ	GAU } حمضُ أسبرتيك	GGU } كلايسينٌ	U
	GUC	GCC	GAC	GGC	C
	GUA	GCA	GAA } حمضُ كلوتاميك	GGA	A
	GUG	GCG	GAG	GGG	G

الترجمةُ

بالرغمِ من أن التعليماتِ الخاصّةَ ببناءِ بروتينٍ معيّنٍ تُنسَخُ من DNA إلى mRNA فإن الأنواعَ الثلاثةَ الرئيسةَ من RNA كلَّها تسهمُ في الترجمةِ، أي في بناءِ البروتين.

تركيبُ البروتينِ

كلُّ بروتينٍ يتكوَّنُ من عديدِ ببتيدٍ واحدٍ أو أكثرَ. إن عديداتِ الببتيدِ هي سلاسلُ من الأحماضِ الأمينيَّةِ ترتبطُ بروابطَ ببتيديَّةٍ. يوجدُ في بروتيناتِ الكائناتِ الحيَّةِ 20 حمضًا أمينيًّا مختلفًا. وسلسلةُ عديدِ الببتيدِ مكوّنةٌ من المئاتِ أو الآلافِ من الأحماضِ الأمينيّةِ الـ 20 المختلفةِ، والمرتَّبةِ وفقَ تتابعٍ خاصٍّ بكلِّ بروتينٍ. إن تتابعَ الأحماضِ الأمينيَّةِ يحدِّدُ كيفيَّةَ التواءِ والتفافِ عديداتِ الببتيداتِ لتشكِّلَ التركيبَ الثلاثيَّ الأبعادِ للبروتينِ. فشكلُ البروتينِ له تأثيرٌ مهمٌّ في وظيفتِهِ.

خطواتُ الترجمةِ

تشتملُ عمليَّةُ الترجمةِ خلالَ بناءِ عديدِ الببتيدِ على خمسِ خطواتٍ يوضحُها الشكل 8-15.

الخطوةُ **1** - ***البدءُ*** ترتبطُ الوحدتانِ البنائيَّتانِ للرايبوسوم و tRNA و mRNA، بعضُها مع بعضٍ. أوّلاً، تَربطُ أنزيماتٌ معيّنةٌ حمضًا أمينيًّا محدَّدًا عند أحدِ طرفَيْ جزيءِ tRNA، وفقًا للشيفرةِ الوراثيَّةِ. أما الطرفُ الآخرُ لـ tRNA فيحتوي على **الكودونِ المضادِّ Anticodon**، أي ثلاثةِ نيوكليوتيداتٍ على tRNA متمِّمةٍ لتتابعِ النيوكليوتيداتِ في كودونِ mRNA.

الحمضُ النوويُّ tRNA الذي يحملُ الحمضَ الأمينيَّ المثيونين، عند أحدِ طرفيهِ يحملُ عند طرفِهِ الآخرِ الكودونَ المضادَّ UAC الذي يرتبطُ مع كودونِ البدءِ AUG على mRNA. إن الحمضَ الأمينيَّ الأولَ، في كلِّ عديداتِ الببتيدِ تقريبًا، هو المثيونين، إلا أن الحمضَ الأمينيَّ هذا قد يُزالُ لاحقًا.

الخطوةُ **2** - ***الاستطالةُ*** تُرْبَطُ الأحماضُ الأمينيَّةُ في سلسلةِ عديدِ الببتيدِ، الواحدُ تلوَ الآخرِ. يزدوجُ الكودونُ المضادُّ في tRNA الذي يحملُ الحمضَ الأمينيَّ المناسبَ مع الكودونِ الثاني في mRNA. بعدها، يفصِلُ الرايبوسومُ المثيونينَ عن tRNA الأوّلِ، وتتشكّلُ رابطةٌ ببتيديَّةٌ بين الميثونينِ والحمضِ الأمينيِّ الثاني. ثم، يغادرُ tRNA الأوّلُ الرايبوسومَ، ويتقدَّمُ الرايبوسومُ على طولِ mRNA مسافةَ كودونٍ واحدٍ.

الخطوةُ **3** - ***استمراريةُ الاستطالةِ،*** تواصلُ سلسلةُ عديدِ الببتيدِ نموَّها فيما يتقدَّمُ الرايبوسومُ على طولِ mRNA. يدخلُ tRNA جديدٌ الرايبوسوم حاملاً حمضًا أمينيًّا للكودونِ التالي إلى mRNA. تنتقلُ سلسلةُ عديدِ الببتيدِ الناميةُ من tRNA إلى الحمضِ الأمينيِّ الذي يحملُهُ tRNA التالي.

يتواصلُ ربطُ الأحماضِ الأمينيَّةِ بسلسلةِ عديدِ الببتيدِ، الواحدِ تلوَ الآخرِ، حتى يصلَ الرايبوسومُ إلى كودونِ إيقافٍ.

نشاطٌ عمليٌّ سريعٌ

مقارنةٌ بين أنواعِ RNA

الموادّ ورقةٌ وقلمُ رصاصٍ.

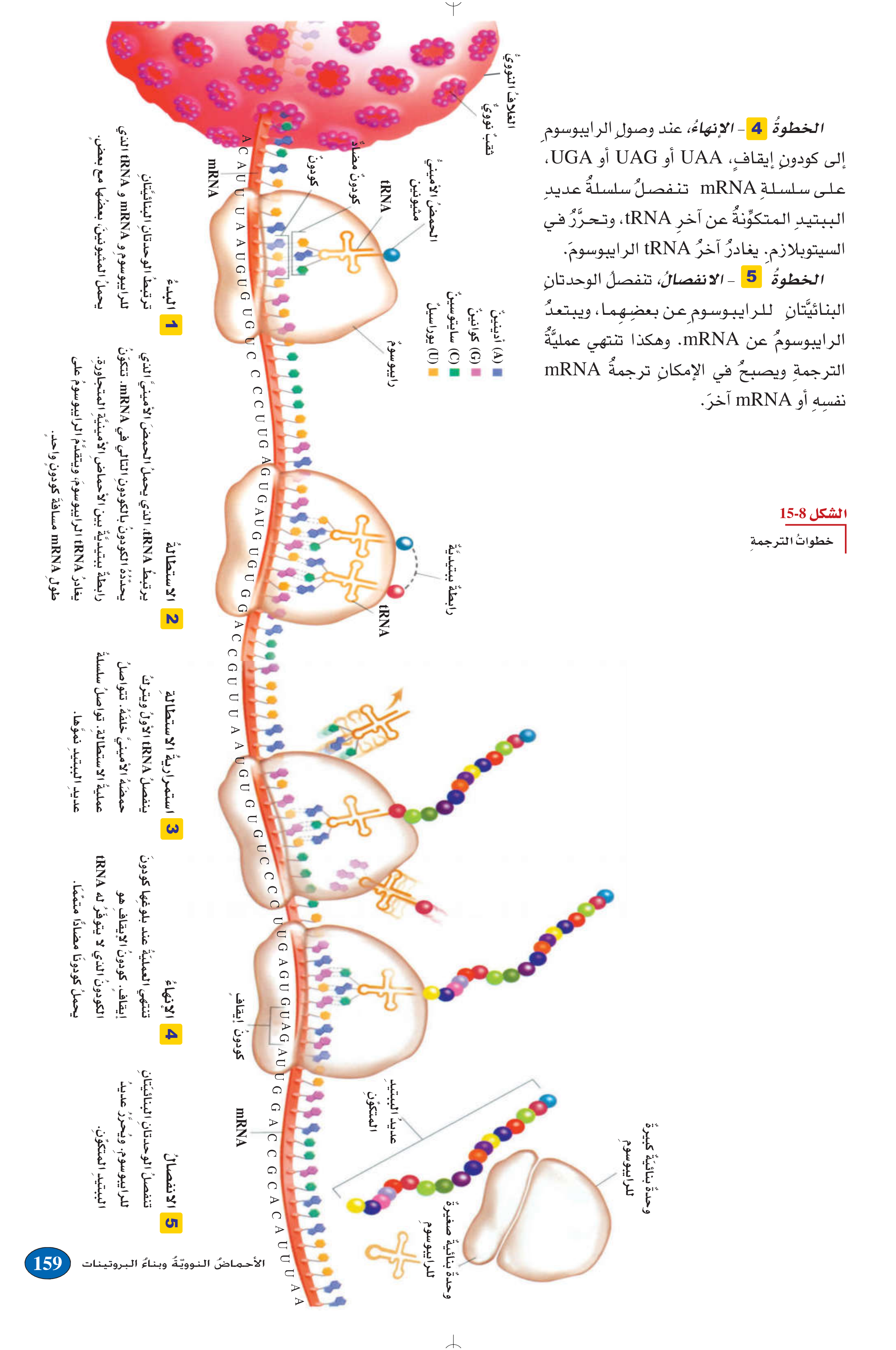
الإجراء

ضعْ جدولاً يقارنُ بين أنواعِ RNA المختلفة، ويتضمنُ وصفًا لتركيبِ ووظيفةِ كلِّ نوعٍ.

التحليل أيُّ أنواعِ RNA تتشابهُ من حيث التركيب؟ ماذا يمكنُ أن يحدثَ لو كان أحدُ أنواعِ RNA مفقودًا؟

الخطوةُ **4** - ***الإنهاءُ***، عند وصولِ الرايبوسومِ إلى كودونِ إيقافٍ، UAA أو UAG أو UGA، على سلسلةِ mRNA تنفصلُ سلسلةُ عديدِ الببتيدِ المتكوِّنةُ عن آخرِ tRNA، وتحرَّرُ في السيتوبلازمِ. يغادرُ آخرُ tRNA الرايبوسومَ.

الخطوةُ **5** - ***الانفصالُ***، تنفصلُ الوحدتانِ البنائيَّتانِ للرايبوسومِ عن بعضِهما، ويبتعدُ الرايبوسومُ عن mRNA. وهكذا تنتهي عمليَّةُ الترجمةِ ويصبحُ في الإمكانِ ترجمةُ mRNA نفسِه أو mRNA آخرَ.



الشكل 15-8
خطواتُ الترجمةِ

ترجمةُ عدَّةِ رايبوسوماتٍ دفعةً واحدةً

بما أن رايبوسومًا جديدًا يباشرُ ترجمةَ mRNA حالَ انتقالِ الرايبوسومِ السابقِ جانبًا، فإنه يمكنُ لعدَّةِ رايبوسوماتٍ أن تترجمَ النسخةَ نفسَها من mRNA في الوقتِ نفسِه. وفي الحقيقةِ، تفتقرُ الكائناتُ الحيَّةُ بدائيَّةُ النواةِ إلى غلافٍ نوويٍّ يفصلُ حمضَها النوويَّ DNA عن الرايبوسوماتِ الموجودةِ في السيتوسول، ولهذا يمكنُ أن تبدأَ الترجمةُ قبل انتهاءِ النسخِ. أما في الكائناتِ الحيَّةِ حقيقيَّةِ النواةِ، فإن ترجمةَ mRNA لا تتمُّ إلا بعدَ انتهاءِ النسخِ.

الجينومُ البشريُّ

في السنواتِ التي تلتِ اكتشافَ واتسون وكريك لتركيبِ DNA، قطعَ العلماءُ شوطًا كبيرًا في مجالِ تطبيقِ هذه المعرفةِ في علمِ أحياءِ الإنسانِ. الآنَ، أصبحَ التتابعُ الجينيُّ الكاملُ **للجينوم Genome** البشريِّ معروفًا بكاملِهِ. لقد حلَّ علماءُ الأحياءِ لغزَ ترتيبِ 3.2 ملياراتٍ من أزواجِ القواعدِ النيتروجينيَّةِ في كروموسوماتِ الإنسانِ. إن الجينومَ البشريَّ كبيرٌ جدًّا، بحيثُ تتطلبُ قراءةُ التتابعِ الكاملِ فيه، بصوتٍ عالٍ، حواليْ عَشْرِ سنواتٍ.

أما التحدّي الحاليُّ فهو معرفةُ المعلوماتِ التي يحدِّدُها تتابعُ نيوكليوتيداتِ DNA فعليًّا. لكن يوجدُ الآنَ حقلٌ جديدٌ ومهمٌّ، يسمّى *المعلوماتيَّةَ الأحيائيَّةَ Bioinformatics* يَستخدمُ الحاسوبَ لمقارنةِ تتابعاتِ نيوكليوتيداتِ DNA المختلفةِ. باستطاعةِ العلماءِ برمجةَ الحاسوبِ للمساعدةِ في تحليلِ وتفسيرِ معظمِ تتابعاتِ نيوكليوتيداتِ DNA وتوقّعِ أماكنِ تواجدِ الجيناتِ على طولِه.

فأن نعرفَ أين ومتى تَستخدمُ خلايا الإنسانِ كلَّ بروتينٍ في ما يقاربُ 25,000 جينٍ في الجينومِ البشريِّ، فذلك أمرٌ يتطلَّبُ مقدارًا أكبرَ بكثيرٍ من مجرَّدِ التحليلِ. هذه المعلوماتُ مهمَّةٌ، لأن معرفةَ أيِّ تتابعاتٍ جينيَّةٍ تتحكَّمُ في وظائفَ أحيائيَّةٍ معيَّنةٍ قد تسهمُ في المستقبلِ في تشخيصِ ومعالجةِ الاختلالاتِ الوراثيَّةِ والسرطانِ والأمراضِ المُعديةِ وفي الوقايةِ منها.

مراجعةُ القسمِ 8-4

1. عدِّدْ أوجهَ الاختلافِ الأربعةَ بين تركيبِ DNA وتركيبِ RNA.
2. صِفْ تركيبَ كلِّ نوعٍ من أنواعِ RNA الثلاثةِ ووظيفتَه أثناءَ عمليَّةِ الترجمةِ.
3. اذكرْ، بالترتيبِ، الخطواتِ الرئيسةَ للنسخِ.
4. ما الشيفرةُ الوراثيَّةُ؟
5. ما أهميَّةُ تحديدِ التتابعِ الكاملِ للجينومِ البشريِّ؟

تفكيرٌ ناقدٌ

6. ما الأحماضُ الأمينيَّةُ التي تنتجُها ترجمةُ mRNA ذاتِ التتابعِ UAACAAGGAGCAUCC؟
7. ناقشْ أهميَّةَ تحديدِ أيِّ سلسلةٍ من سلسلتي DNA يجب أن تُستخدمَ كقالبٍ أثناءَ النسخِ.

مراجعةُ الفصل 8

ملخَّصٌ / مفرداتٌ

1-8

- بيَّنتْ تجاربُ جريفيث قدرةَ المادّةِ الوراثيّةِ على الانتقالِ من خليّةٍ بكتيريّةٍ إلى أخرى، وهذا ما يسمّى التحوُّلَ.
- بيّنتْ تجاربُ آفري أن DNA هو المادّةُ الوراثيّةُ التي تنقلُ المعلوماتِ بين الخلايا البكتيريّةِ.
- أكّدَ هيرشي وتشيس أن DNA، وليس البروتينُ، هو المادَّةُ الوراثيَّةُ.

مفرداتٌ

- التحوُّلُ Transformation (144)
- فتّاكٌ Virulent (143)
- لاقمُ البكتيريا Bacteriophage (145)

2-8

- وضعَ واتسون وكريك نموذجًا لـ DNA.
- إن DNA مكوَّنٌ من سلسلتَيْ نيوكليوتيدات، تلتفّانِ الواحدةُ حولَ الأخرى، على شكلِ حلزونٍ مزدوجٍ.
- يتكوَّنُ نيوكليوتيدُ DNA من سكّرِ الرايبوزِ منقوصِ الأوكسجين، ومجموعةٍ فوسفاتيَّةٍ، وإحدى القواعدِ النيتروجينيَّةِ الأربعِ: الأدينين (A)، الكوانين (G)، السايتوسين (C)، والثايمين (T).
- ترتبطُ النيوكليوتيداتُ، على طولِ كلِّ سلسلةِ DNA، بروابطَ تساهميَّةٍ. ترتبطُ القواعدُ النيتروجينيَّةُ المتمِّمةُ بروابطَ هيدروجينيَّةٍ.
- توفرُ الروابطُ الهايدروجينيَّةُ بين أزواجِ القواعدِ النيتروجينيَّةِ المتمِّمةِ، G-C و T-A، تماسكَ سلسلتَيْ DNA معًا.

مفرداتٌ

- البيريميدينُ Pyrimidine (148)
- البيورينُ Purine (148)
- تتابعُ القواعدِ Base sequence (148)
- الرايبوزُ منقوصُ الأكسجينِ Deoxyribose (147)
- زوجُ القواعدِ المتمِّمةِ Complementary base pair (148)
- القاعدةُ النيتروجينيَّةُ Nitrogenous base (147)
- قوانينُ ازدواجِ القواعدِ Base- pairing rules (148)
- النيوكليوتيدُ Nucleotide(147)

3-8

- إن تضاعفَ DNA هو العمليّةُ التي يُنسَخُ فيها DNA خليّةٍ قبلَ انقسامِها.
- يبدأُ التضاعفُ بانفصالِ سلسلتَيْ DNA بواسطةِ أنزيماتِ الهليكيز. بعدَها، تُنتِجُ أنزيماتُ بلمرةِ DNA سلسلتينِ جديدتينِ بإضافةِ نيوكليوتيداتٍ متمِّمةٍ إلى كلِّ سلسلةٍ أصليَّةٍ.
- كلُّ جزيءِ DNA جديدٍ يتكوَّنُ من سلسلةِ نيوكليوتيداتٍ تعودُ إلى جزيءِ DNA أصليٍّ وسلسلةٍ أخرى جديدةٍ.
- تسمّى التغيُّراتُ في DNA طفراتٍ. يمنعُ التدقيقُ في قراءةِ DNA وإصلاحِ الخطأ حدوثَ العديدِ من الأخطاءِ في التضاعفِ.

مفرداتٌ

- أنزيمُ الهليكيز Helicase (150)
- أنزيمُ بلمرةِ DNA Polymerase DNA (150)
- تضاعفُ DNA Replication DNA (150)
- التضاعفُ نصفُ المحافظ Semi-conservative replication (150)
- شوكةُ التضاعفِ Replication fork (150)
- الطفرةُ Mutation (152)

4-8

- يمكنُ الإشارةُ إلى انتقالِ المعلوماتِ الوراثيَّةِ على النحوِ التالي: DNA ← RNA ← بروتين.
- يحتوي RNA على سكّرِ الرايبوزِ بدلاً من الرايبوزِ منقوصِ الأوكسجين، وعلى القاعدةِ النيتروجينيَّةِ اليوراسيلِ بدلاً من الثايمين. إن RNA أحاديُّ السلسلةِ وأقصرُ من DNA.
- أثناءَ النسخِ، يعملُ DNA كقالبٍ لتوجيهِ بناءِ RNA.
- الشيفرةُ الوراثيَّةُ تحدِّدُ الأحماضَ الأمينيَّةَ في كلِّ كودونٍ في mRNA.
- إن mRNA يحملُ «الرسالةَ» الوراثيَّةَ من النواةِ إلى السيتوسول، وrRNA هو المكوِّنُ الرئيسُ للرايبوسومات، وtRNA ينقلُ أحماضًا أمينيَّةً محدّدةً فيسهمُ في إنتاجِ عديداتِ الببتيدِ.

مفرداتٌ

- إشارةُ الانتهاءِ Termination signal (158)
- أنزيمُ بلمرةِ RNA Polymerase RNA (158)
- بناءُ البروتينِ Protein synthesis (154)
- الترجمةُ Translation (154)
- الجينومُ Genome (160)
- الحمضُ النوويُّ الرايبوزيُّ Ribonucleic acid (RNA) (154)
- الرايبوزُ Ribose (155)
- RNA الرسولُ Messenger RNA (mRNA) (155)
- RNA الرايبوسوميُّ Ribosomal RNA (rRNA) (155)
- RNA الناقلُ Transfer RNA (tRNA) (155)
- الشيفرةُ الوراثيَّةُ Genetic code (157)
- الكودونُ Codon (157)
- الكودونُ المضادُّ Anticodon (158)
- موقعُ الابتداءِ Promoter (162)
- النَّسْخُ Transcription (160)

مراجعةٌ

مفرداتٌ

1. وضِّحْ وجهَ الاختلافِ بين معاني مفرداتِ كلِّ زوجٍ مما يلي:

أ. بيورينٌ وبيريميدينٌ.

ب. رايبوسومٌ و RNA رايبوسوميٌّ.

ج. RNA رسولٌ و RNA ناقلٌ.

د. إشارةُ انتهاءٍ وكودونُ إيقافٍ.

هـ. النَّسْخُ والترجمةُ.

2. وضِّحِ العلاقةَ بين الكودونِ والجينِ؟

3. استخدمِ المفاهيمَ التاليةَ في جملةٍ واحدةٍ: تضاعفُ DNA، شوكةُ التضاعفِ، أنزيمُ الهليكيزِ، أنزيمُ بلمرةِ DNA.

اختيارٌ من مُتعدِّدٍ

4. DNA مسؤولٌ عن:

أ. توجيهِ RNA لبناءِ الدهونِ.

ب. توجيهِ RNA لإنتاجِ الكلوكوزِ.

ج. تحديدُ المعلوماتِ لبناءِ البروتيناتِ.

د. تغييرِ الشيفرةِ الوراثيَّةِ.

5. أين يوجدُ RNA؟

أ. في البروتيناتِ فقط.

ب. في النواةِ فقط.

ج. في السيتوبلازمِ فقط.

د. في النواةِ وفي السيتوبلازمِ.

6. ماذا تسمّى الوحدةُ البنائيّةُ الأساسيّةُ في DNA؟

أ. سكّرًا.

ب. نيوكليوتيدًا.

ج. فوسفاتًا.

د. حمضًا نوويًّا.

7. أيٌّ من الأحماضِ النوويَّة التاليةِ يسهمُ في الترجمةِ؟

أ. DNA فقط.

ب. mRNA فقط.

ج. DNA و mRNA.

د. mRNA و tRNA.

يبيّنُ هذا الجدولُ النسبةَ المئويّةَ للقواعدِ النيتروجينيّةِ عند بعضِ الكائناتِ الحيّةِ. استخدمِ الجدولَ لتجيبَ عن السؤالِ التالي:

النسبةُ المئويَّةُ لكلِّ قاعدةٍ نيتروجينيَّةٍ لدى كائناتٍ حيّةٍ مختلفةٍ

	A	T	G	C
بكتيريا *E.coli*	24.7	23.6	26.0	25.7
الإنسانُ	30.4	30.1	19.6	19.9
القمحُ	27.3	27.1	22.7	22.8

8. ما نسبةُ البيوريناتِ إلى البيرميديناتِ عند الكائناتِ الحيّةِ في الجدولِ السابقِ؟

أ. حواليّ 1:1.
ب. حواليّ 2:1.
ج. حواليّ 3:1.
د. حواليّ 4:1.

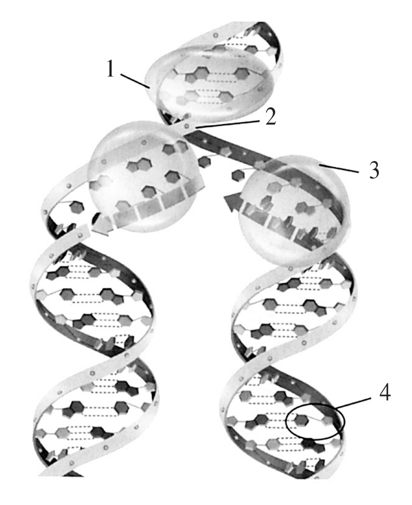
9. أيُّ نيوكليوتيداتٍ توجدُ في نسبةٍ مئويةٍ متشابهةٍ لدى كلِّ كائنٍ حيٍّ؟

أ. A و T، G و C.
ب. A و C، G و T.
ج. A و C، G و U.
د. A و G، T و U.

10. mRNA : يوراسيل ؛ DNA :

أ. كوانينٌ.
ب. ثايمينٌ.
ج. أدينينٌ.
د. سايتوسينٌ.

يمثِّلُ هذا النموذجُ جزيءَ DNA أثناءَ التضاعفِ. استخدمِ النموذجَ للإجابةِ عن السؤالِ التالي:



11. أيُّ جزءٍ من هذا النموذجِ يمثلُ أنزيمَ الهليكيزِ؟

أ. 1.
ب. 2.
ج. 3.
د. 4.

إجابةٌ قصيرةٌ

12. لخِّص التجاربَ التي قام بها كريفث في مجالِ التحوُّلِ.
13. وضِّحْ كيف قادتْ تجاربُ آفري إلى أن DNA هو الجزيءُ الوراثيُّ في البكتيريا.
14. صفْ كيف ساهمَ هيرشي وتشيس في توصُّلِ العلماءِ إلى أن DNA هو الجزيءُ الوراثيُّ في الفيروساتِ.
15. حدِّدْ مكوِّناتِ النيوكليوتيد.
16. سمِّ الروابطَ التي تربطُ بين النيوكليوتيداتِ على طولِ سلسلةِ DNA.
17. اذكرْ قوانينَ ازدواجِ القواعدِ المتمِّمة.
18. لخِّص الخطواتِ الرئيسةَ التي تتمُّ أثناءَ تضاعفِ DNA.
19. ما وظيفةُ أنزيم بلمرةِ DNA في تضاعفِ DNA؟
20. وضِّحْ أهميَّةَ ازدواجِ القواعدِ النيتروجينيَّةِ المتمِّمةِ في تضاعفِ DNA.
21. وضِّحْ أهميَّةَ أنزيماتِ الإصلاحِ في تعرُّفِ الأخطاءِ أثناءَ تضاعفِ DNA.
22. لخِّص انتقالَ المعلوماتِ الوراثيَّةِ في الخلايا.
23. قارنْ بين تركيبِ RNA وتركيبِ DNA.
24. لخِّصْ كيفيَّةَ تكوُّنِ RNA من جين أثناءَ عمليَّةِ النسخِ.
25. حدِّدْ وظيفةَ الشيفرةِ الوراثيَّةِ.
26. ميِّزْ بين وظائفِ أنواعِ RNA الثلاثةِ المعنيّةِ ببناءِ البروتين.
27. اذكرْ بالترتيبِ، الخطواتِ الرئيسةَ للترجمةِ.
28. ناقشْ أهميةَ تعرُّفِ الجينومِ البشريِّ.
29. استخدمِ المفرداتِ التاليةَ لوضعِ خريطةِ مفاهيمَ تصفُ تركيبَ DNA وكيفيَّةَ نسخِهِ: النيوكليوتيداتُ، المجموعةُ الفوسفاتيّةُ، الرايبوزُ منقوصُ الأكسجين، القاعدةُ النيتروجينيّةُ، الحلزونُ المزدوجُ، التضاعفُ، البيورينُ، البيريمدينُ، أنزيماتُ بلمرةِ DNA، الجيناتُ.

تفكيرٌ ناقد

1. تمثلُ الرموزُ التاليةُ تتابعَ النيوكليوتيداتِ في قطعةٍ من DNA:



- ما تتابعُ نسخةِ mRNA الناتجةِ من تتابعِ DNA هذا؟
- ما الكودوناتُ المضادَّةُ في tRNA التي ترتبطُ بنسخةِ mRNA هذه؟ استخدمِ الجدولَ 8-1 لتحديدِ سلسلةِ الأحماضِ الأمينيةِ التي تحدِّدُها نسخةُ mRNA هذه.

2. يتضاعفُ جزيءُ DNA لإنتاجِ جزيئَينِ جديدين من DNA. بعدها، يتضاعفُ الجزيئانِ لإنتاجِ أربعةِ جزيئاتٍ جديدةٍ من DNA. ما عددُ سلاسلِ النيوكليوتيداتِ الأصليَّةِ الموجودةِ في الجزيئاتِ الأربعةِ لـ DNA.
3. لقد حدَّدَ العلماءُ، وبشكلٍ أساسيٍّ، جميعَ النيوكليوتيداتِ التي يبلغُ عددُها حواليَّ 3 ملياراتِ نيوكليوتيد تكشفُ عن الجينومِ البشريِّ. هذه المعلوماتُ الوراثيةُ ستؤدي إلى ثورةٍ في مجالِ تشخيصِ ومعالجةِ العديدِ من أمراضِ الإنسانِ والوقايةِ منها. ما أهميَّةُ هذه المعلوماتِ، برأيك، في مجالِ الأبحاثِ حول أمراضِ الإنسانِ؟

توسيعُ آفاقِ التفكيرِ

1. يمكنُ أن يلحقَ ضررٌ بـ DNA عن طريقِ أخطاءٍ تحدثُ أثناءَ التضاعف. هذه الأخطاءُ تسمّى طفراتٍ.
   أ. وضِّحْ كيفيَّةَ تضاعفِ DNA في الخلايا حقيقيَّةِ النواةِ.
   ب. وضِّحْ كيف يمكنُ لطفرةٍ تحدثُ أثناءَ تضاعفِ DNA أن تؤثِّرَ في البروتينِ المتكوِّنِ من DNA هذا.
2. اكتبْ تقريرًا حولَ كيفيَّةِ تأثيرِ بعضِ المضادّاتِ الحيويّةِ في عمليَّةِ الترجمةِ.

الفصـــل 9

أنماطُ التوارثِ وعلمُ الوراثةِ عندَ الإنسانِ



يوجدُ (23) زوجًا من الكروموسوماتِ في كلِّ خليةٍ من جسمِ الإنسانِ، باستثناءِ الحيوانِ المنويِّ والبويضةِ. يحتوي كلُّ كروموسومٍ على آلافِ الجيناتِ التي تؤدّي دورًا مهمًّا في كيفيَّةِ نموِّ الفردِ وتطوُّرِهِ وقيامِهِ بوظائفِهِ.

1-9 الكروموسوماتُ والتوارثُ
2-9 علمُ الوراثةِ عندَ الإنسانِ

المفهومُ الرئيسُ: التكاثُرُ والتوارثُ

لاحظْ، وأنتَ تقرأُ هذا الفصلَ، كيفَ ساهمتْ مبادئُ مندل الخاصّةُ بعلمِ الوراثةِ (الفصل 7) ومعرفةِ تركيبِ الكروموسومِ وبناءِ البروتيناتِ (الفصل 8)، في تقدُّمِ دراسةِ علمِ الوراثةِ.

القسم

1-9

النواتج التعليمية

▲ يميِّزُ بين الكروموسوماتِ الجنسيّةِ والكروموسوماتِ الجسميّةِ.

● يوضحُ دورَ الكروموسوماتِ الجنسيّةِ في تحديدِ الجنسِ.

■ يصفُ كيفَ يؤثِّرُ جينٌ يحملُهُ الكروموسوم X أو الكروموسوم Y في توارثِ السِّماتِ.

◆ يوضحُ تأثيرَ العبورِ في توارثِ الجيناتِ المرتبطةِ.

▲ يميِّزُ بين الطفراتِ الكروموسوميّةِ والطفراتِ الجينيّةِ.

الكروموسوماتُ والتوارثُ

اكتشفَ فرانسيس كولنز Francis Collins وفريقُ عملِهِ المختبريِّ الجينَ المسؤولَ عن مرضِ التليُّفِ الحوصليِّ Cystic fibrosis. وهو خللٌ وراثيٌّ قاتلٌ في أغلبِ الأحيانِ. ومن أعراضِهِ تجمُّعُ موادَّ مخاطيّةٍ كثيفةٍ ودبقةٍ تسدُّ القنواتِ في البنكرياسِ والأمعاءِ وتسبِّبُ صعوبةً في التنفُّسِ. في هذا الفصلِ ستتعلّمُ كيفَ يتمُّ توارثُ الأمراضِ كمرضِ التليُّفِ الحوصليِّ، وتوارثِ الصفاتِ كلونِ العينينِ، وكيفَ يتمُّ التعبيرُ عنهما.

الكروموسوماتُ

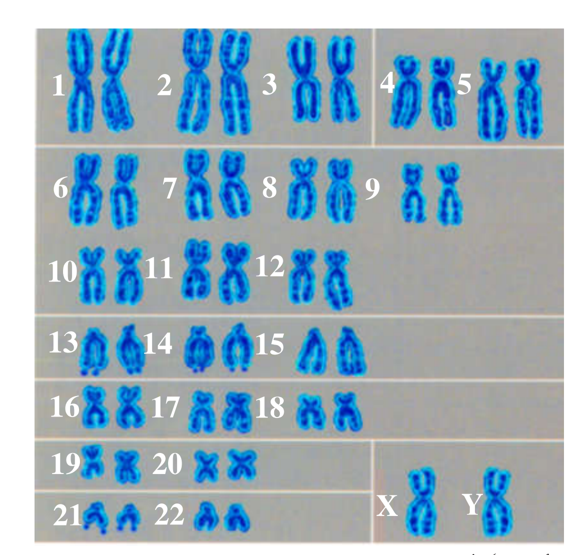
درسَ جيف بينارد Jeff Pinard كيفَ يتمُّ توارثُ مرضِ التليُّفِ الحوصليِّ. بينارد، الظاهرُ في الشكل 1-9، يعاني من مرضِ التليُّفِ الحوصليِّ. وقد تمكَّنَ هو وفريقُهُ العلميُّ من دراسةِ الجينِ المسؤولِ عن هذا المرضِ. ويرجعُ الفضلُ جزئيًّا إلى جهودِ علماءِ الوراثةِ في بدايةِ القرنِ العشرينَ.

الأعمالُ السابقةُ

في بدايةِ القرنِ العشرينَ، باشرَ الباحثُ توماس موركان Thomas Morgan القيامَ بتجاربَ على *ذبابةِ الفاكهةِ Drosophila melanogaster*. فلاحظَ أن لهذهِ الذبابةِ أربعةَ أزواجٍ من الكروموسوماتِ. وأن ثلاثةَ أزواجٍ من تلكَ الكروموسوماتِ كانت متطابقةً عندَ الإناثِ وعندَ الذكورِ، بينما كانَ الزوجُ الرابعُ مختلفًا في الحجمِ وفي الشكلِ. فعندَ الإناثِ كانَ الزوجُ الرابعُ مُكوَّنًا من كروموسومينِ متطابقينِ، ويسمّيانِ حاليًّا الكروموسومينِ X، *X Chromosomes*. وعندَ الذكورِ كانَ الزوجُ الرابعُ مُكوَّنًا من كروموسومٍ واحدٍ X، ومن كروموسومٍ أقصرَ يسمى حاليًّا الكروموسوم Y *Y Chromosome*. واليومَ، يطلقُ علماءُ الوراثةِ على الكروموسوماتِ X و Y اسمَ *الكروموسوماتِ الجنسيةِ Sex chromosomes*.



الشكل 1-9
استخدمَ جيف بينارد تقنيّاتٍ جزيئيةً لدراسةِ التنوُّعِ الجينيِّ الذي يسبِّبُ أعراضَ مرضِ التليُّفِ الحوصليِّ الذي يشكو هو منهُ.



(أ) مخطَّطُ كروموسوماتٍ لذكرٍ طبيعيٍّ

(ب) مخطَّطُ كروموسوماتٍ لأنثى طبيعيَّةٍ

الشكل 2-9
مخطَّطُ الكروموسوماتِ عند الإنسان

الكروموسوماتُ الجنسيَّةُ والكروموسوماتُ الجسميَّةُ

تحتوي **الكروموسوماتُ الجنسيّةُ Sex chromosomes** على الجيناتِ التي تحدِّدُ جنسَ الفردِ. أما الكروموسوماتُ المتبقِّيةُ، التي لا تعنى مباشرةً بتحديدِ جنسِ الفردِ، فتسمّى **الكروموسوماتِ الجسميَّةَ Autosomes**. وعند الإنسانِ - كما هو الحالُ عند ذبابةِ الفاكهةِ - يوجدُ لدى الذكورِ كروموسومٌ X واحدٌ وكروموسومٌ Y واحدٌ، ولدى الإناثِ كروموسوما X. يمثِّلُ الشكلُ 2-9 أ أزواجَ الكروموسوماتِ الـ 23 لذكرٍ، والشكلُ 2-9 ب يمثِّلُ أزواجَ الكروموسوماتِ الـ 23 لأنثى. وعند بعضِ الكائناتِ الحيَّةِ، كالدجاجِ وحشرةِ العثِّ، يوجدُ لدى الذكورِ كروموسومانِ جنسيّانِ متطابقانِ، ولدى الإناثِ كروموسومانِ جنسيّانِ مختلفانِ. ومعظمُ النباتاتِ وبعضُ الأسماكِ تفتقرُ إلى الكروموسوماتِ الجنسيّةِ بصورةٍ كليّةٍ.

تحديدُ الجنسِ

تظهرُ الكروموسوماتُ الجنسيّةُ خلالَ الانقسامِ الأوّلِ للانشطارِ الاختزاليِّ، كالكروموسوماتِ الأخرى، على شكلِ أزواجٍ متماثلةٍ. وعند نهايةِ الانشطارِ الاختزالي، تنفصلُ أزواجُ الكروموسوماتِ وتنتقلُ إلى خلايا الأمشاجِ. ونتيجةً لذلك، قد يتلقّى الحيوانُ المنويُّ، باحتمالٍ متساوٍ، كروموسومَ X أو كروموسومَ Y، إلا أن كلَّ بيضةٍ ستتلقّى كروموسومَ X واحدًا فقط. نتيجةً لنظامِ تحديدِ الجنسِ هذا، تكونُ نسبةُ الذكورِ إلى الإناثِ 1/1. إذ تتلقّى كلُّ بيضةٍ وكلُّ حيوانٍ منَويٍّ كروموسومًا واحدًا من كلِّ زوجٍ كروموسوميٍّ جسميٍّ.

وعند الثدييّاتِ، حينَ تُخصَّبُ البيضةُ التي تحتوي على الكروموسوم X بواسطةِ حيوانٍ منويٍّ يحتوي على الكروموسوم Y، يكونُ لدى الفردِ الناتجِ وهو ذكرٌ الكروموسومانِ XY، وعلى هذا النحوِ، عندما تُخصَّبُ البيضةُ بواسطةِ حيوانٍ منويٍّ يحتوي على الكروموسوم X، سيكونُ لدى الفردِ الناتجِ الكروموسومانِ XX وهو أنثى.

عند ذكورِ الثدييّاتِ يحتوي الكروموسومُ Y على جينٍ يسمى *الجينَ المحدِّدَ للجنسِ SRY، Sex-determining Region Y*، أي المنطقةَ من الكروموسوم Y التي تحدِّدُ الجنسَ. هذا الجينُ مسؤولٌ عن بناءِ بروتينٍ يجعلُ الغُدَّتينِ التناسليَّتينِ للجنينِ تنموانِ وتتطوَّرانِ لتصبحا خُصْيَتَيْنِ. وبما أن الجنينَ الأنثى يفتقرُ إلى الجينِ *SRY*، فإن الغدَّتينِ التناسليَّتيْنِ ستنموانِ وتتطوَّرانِ لتصبحا مبيضينِ.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

الكروموسومُ الجسميُّ

Autosome

منَ اليونانيّةِ autos وتعني «ذاتي» و soma وتعني «الجسم»

(أ)

$P♂$

X^rY

	X^r	Y
X^R	$X^RX^r♀$	$X^RY♂$
X^R	$X^RX^r♀$	$X^RY♂$

X^RX^R
$P♀$

F_1

(ب)

$F_1♂$

X^RY

	X^R	Y
X^R	$X^RX^R♀$	$X^RY♂$
X^r	$X^RX^r♀$	$X^rY♂$

X^RX^r
$F_1♀$

F_2

الشكل 9-3

إن لونَ العينين، عندَ ذبابة الفاكهة سمةٌ مرتبطةٌ بالجنس، كما هو ظاهرٌ في مربَّعَيْ بونيت هذين. (أ) يُنتِجُ تزاوجُ ذكرٍ (♂) أبيضِ العينين مع أنثى (♀) حمراءِ العينين جيلاً أوّلَ جميعُ أفرادِه حمراءُ العيون. (ب) يُنتِجُ التزاوجُ بين أفرادِ الجيل الأول جيلاً ثانيًا جميعُ إناثه ونصفُ ذكوره حمراءُ العيون، ونصفُ ذكورِه الآخر بيضاءُ العيون.

تأثيراتُ موقعِ الجين

عندما كانَ موركانُ يجري أبحاثَهُ على ذبابةِ الفاكهةِ تنبَّهَ إلى أن ذبابةَ فاكهةٍ ذكرًا واحدةً فقط كانت بيضاءَ العينين، بدلاً من أن تكونَ حمراءَ العينين كما تكونُ عادةً، أجرى موركان تزاوجًا بين هذا الذكرِ الأبيضِ العينين وأنثى حمراءِ العينين، فوجدَ أن أفرادَ الجيلِ الأوّلِ جميعَها كانت حمراءَ العينين، الشكل 9-3 أ. وأشارَ هذا إلى أن سمةَ اللونِ الأحمرِ للعيونِ سائدةٌ على سمةِ اللونِ الأبيضِ. أجرى موركان بعدَها تزاوجًا بين ذكورٍ وإناثٍ من الجيلِ الأوّلِ، الشكل 9-3 ب. فنتجَ عن ذلكَ أفرادٌ حمراءُ العيونِ وأفرادٌ بيضاءُ العيونِ بالنسبةِ المتوقَّعةِ وهي 3:1. لكنْ ما لم يكنْ متوقَّعًا هو أن كلَّ الأفرادِ ذاتِ العيونِ البيضاءِ كانتْ ذكورًا.

الجيناتُ والسماتُ المرتبطةُ بالجنس

استنادًا إلى تلك الملاحظةِ المفاجئةِ، وضعَ موركان فرضيّةً تقولُ بأن الجينَ المسؤولَ عن لونِ العينين يحملُهُ الكروموسومُ X، وأن الكروموسومَ Y يفتقرُ إلى أليلٍ لجينِ لونِ العينين. يحملُ الكروموسومُ X أليلاً لجينِ لونِ العينين، X^R (الأليلُ للونِ العينين الأحمر) أو X^r (الأليلُ للونِ العينين الأبيض). إذا أجريَ تزاوجٌ بين أنثى X^RX^R (حمراءِ العينين) وذكرٍ X^rY (أبيضِ العينين)، سيكونُ جميعُ إناثِ الجيلِ الأوّلِ X^RX^r (حمراءَ العيون) وجميعُ ذكورِ الجيلِ الأوّلِ X^RY (حمراءَ العيون).

أما الجيلُ الثاني، فسيكونُ منهُ نصفُ الإناثِ X^RX^R، والنصفُ الآخرُ X^RX^r. وبما أن جميعَ الإناثِ لديها الأليلُ R السائدُ، فإنها جميعًا ستكونُ حمراءَ العيونِ. أما الذكورُ في الجيلِ الثاني، فسيكونُ نصفُها X^RY (حمراءَ العيونِ) بينما يكونُ نصفُها الآخرُ X^rY (بيضاءَ العيونِ).

أظهرتْ هذه التجاربُ أن الجيناتِ لا تحملُها الكروموسوماتُ الجسميّةُ فحسب، بل تحملُها الكروموسوماتُ الجنسيّةُ أيضًا، فجينُ لونِ العينين الأحمرِ يقعُ على الكروموسومِ X. أطلقَ موركان على الجيناتِ التي تقعُ على الكروموسوم X اسمَ *الجيناتِ المرتبطةِ بالكروموسوم X*، *X-linked genes*، وأطلقَ على الجيناتِ التي تقعُ على الكروموسوم Y، كالجينِ SRY عند الإنسانِ، اسمَ *الجيناتِ المرتبطةِ بالكروموسوم Y*، *Y-linked genes*. **السمةُ المرتبطةُ بالجنس Sex-linked trait**، مصطلحٌ يشيرُ إلى السمةِ التي تعبِّرُ عن أليلٍ يحملُهُ كروموسومٌ جنسيٌّ. الكروموسومُ X أكبرُ حجمًا من الكروموسومِ Y، لذا كان عددُ السماتِ المرتبطةِ بالكروموسومِ X يفوقُ عددَ السماتِ المرتبطةِ بالكروموسومِ Y. معظمُ الأليلاتِ المرتبطةِ بالكروموسومِ X ليسَ لها نظيرٌ على الكروموسومِ Y. وبما أن للذكورِ كروموسومَ X واحدًا فقط، فإن الذكرَ الذي يحملُ أليلاً متنحيًا على الكروموسومِ X سيُظهِرُ السمةَ المرتبطةَ بالجنس.

نشاطٌ عمليٌّ سريعٌ

صنعُ نموذجٍ عن الارتباط

الموادُّ نوعانِ من حبوبِ الحلوى، عيدانٌ لتنظيفِ الأسنانِ، قلمُ رصاصٍ، وورقٌ.

الإجراءُ استخدمْ نوعينِ من حبوبِ الحلوى، لكلِّ نوعٍ لونانِ لتمثيلِ جينينِ لكلٍّ منهما سمتانِ. سمةُ الأنوفِ الطويلةِ سائدةٌ على سمةِ الأنوفِ القصيرةِ. سمةُ الآذانِ الكبيرةِ سائدةٌ على سمةِ الآذانِ الصغيرةِ. ويمثِّلُ لونٌ معينٌ من الحبوبِ الأليلَ السائدَ، ولونٌ آخرُ الأليلَ المتنحّيَ. استخدمْ هذه الموادَّ لتحديدِ نتائجِ التزاوجِ بين فردينِ هجينينِ للسمتينِ معًا. سيخبرُكَ معلِّمُكَ إذا كان الجينانِ مرتبطينِ أم لا.

1. ارسمْ مربَّعَ بونيت. استخدمِ الأليلاتِ المناسبةَ في تمثيلِ الأمشاجِ لكلِّ فردٍ. بعدَها، ضعْ مجموعاتِ الأليلاتِ في كلِّ مربَّعٍ، وذلك لتمثيلِ اللاقحاتِ التي يمكنُ أن تنتجَ عن هذا التزاوجِ.
2. إذا كان الجينانِ لديكَ مرتبطينِ، فيجبُ عليك استخدامُ عيدانِ تنظيفِ الأسنانِ لربطِ الجينينِ معًا قبلَ ترتيبِ الأمشاجِ في مربّعِ بونيت الخاصِّ بك.

التحليلُ ما نسبةُ الطرازِ المظهريِّ لدى الأبناءِ عندما يكونُ الجينانِ غيرَ مرتبطينِ؟ ما نسبةُ الطرازِ المظهريِّ عندما يكونُ الجينانِ مرتبطينِ؟ وضِّحِ الفرقَ بين الحالتينِ.

الجيناتُ المرتبطةُ

وضعَ موركان وآخرونَ من علماءِ الوراثةِ فرضيّةً تقولُ: إذا وُرِّثَتْ جيناتٌ معيَّنةٌ كمجموعةٍ واحدةٍ، فإن السببَ هو وجودُ هذه الجيناتِ على الكروموسومِ نفسِهِ. قامَ مورجان بدراسةِ جينينِ عند ذبابةِ الفاكهةِ، أحدُهما مسؤولٌ عن لونِ الجسمِ والثاني عن طولِ الجناحِ، ويقعانِ على الكروموسومِ الجسميِّ نفسِهِ. أليلُ اللونِ الرماديِّ G للجسمِ كان سائدًا على أليلِ اللونِ الأسودِ g للجسمِ، وأليلُ الأجنحةِ الطويلةِ L كان سائدًا على أليلِ الأجنحةِ القصيرةِ l. أجرى موركان تزاوجًا بين أفرادٍ رماديّةِ الجسمِ طويلةِ الأجنحةِ ($GGLL$) وأفرادٍ سوداءِ الجسمِ قصيرةِ الأجنحةِ ($ggll$)، فكانتْ جميعُ أفرادِ الجيلِ الأوّلِ من ذواتِ الطرازِ الجينيِّ $GgLl$، أي رماديَّةَ الجسمِ طويلةَ الأجنحةِ.

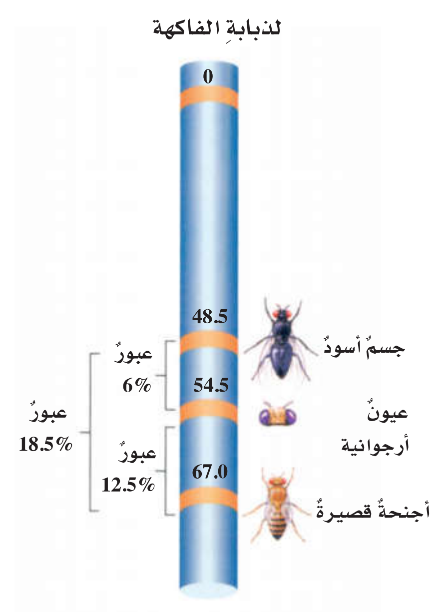
بعدها، أجرى موركان تزاوجًا بين أفرادِ الجيلِ الأولِ ($GgLl$ x $GgLl$) فأنتجَ جيلاً ثانيًا طرازُهُ المظهريُّ أفرادٌ رماديَّةُ الجسمِ طويلةُ الأجنحةِ وأفرادٌ سوداءُ قصيرةُ الأجنحةِ بنسبةِ 1:3. فلو كانتِ الأليلاتُ للجينينِ موجودةً على كروموسومينِ مختلفينِ، لكانتْ توزَّعتْ بشكلٍ مستقلٍّ وأنتجتْ جيلاً ثانيًا نسبةُ طرازِهِ المظهريِّ 1:3:3:9، كما في بازلاءِ مندل. أطلقَ موركان على أزواجِ الجيناتِ التي يتمُّ انتقالُها بشكلٍ مجموعةٍ واحدةٍ اسمَ **الجيناتِ المرتبطةِ Linked genes**.

وضعَ موركان فرضيّةً تقولُ بأن الارتباطَ بين الجيناتِ عائدٌ إلى أنها موجودةٌ على الكروموسومِ نفسِهِ. وساهمتْ ملاحظةٌ غيرُ متوقَّعةٍ في إثباتِ هذه الفرضيَّةِ. فقد أنتجتْ تزاوجاتُ الجيلِ الثاني التي أجراها موركان بعضَ الأبناءِ المختلفةِ عن كلا الأبوينِ، فكانتِ الأبناءُ رماديَّةَ الجسمِ قصيرةَ الأجنحةِ ($Ggll$)، أو سوداءَ الجسمِ طويلةَ الأجنحةِ ($ggLl$). أدركَ موركان أن الطفراتِ الوراثيَّةَ نادرةٌ جدًّا، ولا تفسِّرُ كلَّ الاستثناءاتِ التي لاحظَها. لهذا توقّعَ موركان أن عمليّةَ إعادةِ ترتيبِ الأليلاتِ الطبيعيّةِ التي تحدثُ أثناءَ العبورِ هي المسؤولةُ عن ذلك. تذكَّرْ أن العبورَ هو تبادلُ قطعٍ من DNA بين كروموسوماتٍ متماثلةٍ. فإن *العبورَ*، *Crossing-over*، الذي يجري أثناءَ الانقسامِ الاختزاليِّ الأولِ لا يُنتجُ جيناتٍ جديدةً ولا يزيلُ جيناتٍ قديمةً، بل يعيدُ ترتيبَ مجموعاتِ الأليلاتِ.

وضعُ خريطةٍ كروموسوميَّةٍ

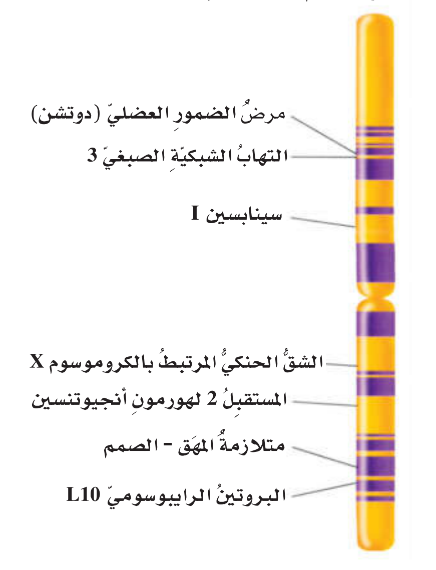
كلّما بَعُدتِ المسافةُ الفاصلةُ بين جينينِ يحملُهما كروموسومٌ واحدٌ، زادَ احتمالُ حدوثِ العبورِ. وكلّما ارتفعتِ النسبةُ المئويّةُ من أفرادِ الجيلِ الثاني ذاتِ السماتِ الناتجةِ عن التراكيبِ الجينيّةِ الجديدةِ على الكروموسومِ كانتِ المسافةُ أبعدَ بين الجيناتِ المسؤولةِ عن هذه السماتِ.

يجري الباحثونَ تزاوجاتٍ ويستخدمونَ البياناتِ الناتجةَ عنها في بناءِ خريطةِ كروموسوماتٍ. **الخريطةُ الكروموسوميَّةُ Chromosome map** هي رسمٌ يظهرُ الترتيبَ الخطيَّ للجيناتِ على الكروموسومِ الواحدِ. وضعَ ألفرد هـ. ستورتفانت Alfred H. Sturtevant، وهو أحدُ طلابِ موركان، أوّلَ خريطةٍ كروموسوميَّةٍ للذبابِ، الشكل 9-4، عن طريقِ مقارنةِ نسبةِ العبورِ لعدةِ جيناتٍ. فرأى أن النسبةَ المئويّةَ للعبورِ لسمتينِ اثنتينِ مختلفتَيْنِ تتناسبُ مع المسافةِ الفاصلةِ بينهما على الكروموسومِ.



الشكل 9-4

تبلغُ نسبةُ العبورِ بين جينِ الجسمِ الأسودِ وجينِ العيونِ الأرجوانيةِ 6%، ولهذا يبتعدُ هذانِ الجينانِ الواحدُ عن الآخرِ بـ 6 وحداتِ خريطةٍ. وتبلغُ نسبةُ العبورِ بين جينِ العيونِ الأرجوانيةِ وجينِ الأجنحةِ القصيرةِ 12.5%، وهذا يعادلُ 12.5 وحدةَ خريطةٍ. ولهذا يبتعدُ جينُ الجسمِ الأسودِ عن جينِ الأجنحةِ القصيرةِ 18.5 وحدةَ خريطةٍ.



الشكل 9-5

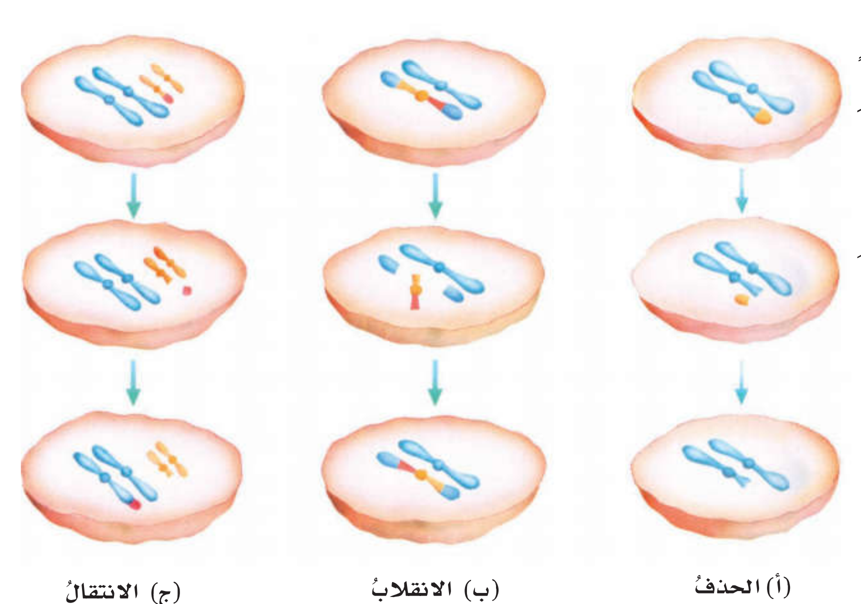
مواقعُ بضعةِ جيناتٍ على الكروموسوم X.

حدد ستورتفانت **وحدةَ الخريطةِ Map unit**، الواحدةَ بأنها المسافةُ التي تفصلُ بين جينينِ تبلغُ نسبةُ العبورِ بينهما 1%.

حاليًّا يستخدمُ الباحثونَ تقنّياتٍ جديدةً لوضعِ خريطةِ الجيناتِ. الشكل 9-5 يبينُ خريطةً مبسّطةً للكروموسومِ X للإنسانِ، وُضِعَتْ عن طريقِ استخدامِ هذه التقنيّاتِ الجديدةِ.

الطفراتُ

يَنتجُ مرضُ التليُّفِ الحوصليِّ عن *طفرةٍ Mutation*. الطفرةُ هي تغيرٌ في تتابعِ القواعدِ النيتروجينيّةِ لجينٍ أو لجزيءٍ من DNA. تحدثُ **طفراتُ الخلايا التناسليّةِ Germ-cell mutations** في أمشاجِ الكائنِ الحيِّ. إن طفراتِ الخلايا التناسليَّةِ لا تؤثِّرُ في الكائنِ الحيِّ نفسِه، إلا أنها يمكنُ أن تنتقلَ إلى أبنائِه. تحدثُ **طفراتُ الخلايا الجسميَّةِ Somatic-cell mutations** في الخلايا الجسميَّةِ للكائنِ الحيِّ، ولذلك يمكنُ أن تؤثِّرَ فيه. مثلاً، بعضُ أنواعِ سرطانِ الجلدِ وسرطانِ الدمِ، لدى الإنسانِ، تنتجُ عن طفراتٍ في الخلايا الجسميَّةِ. إن طفراتِ الخلايا الجسميَّةِ لا تُورَّثُ.



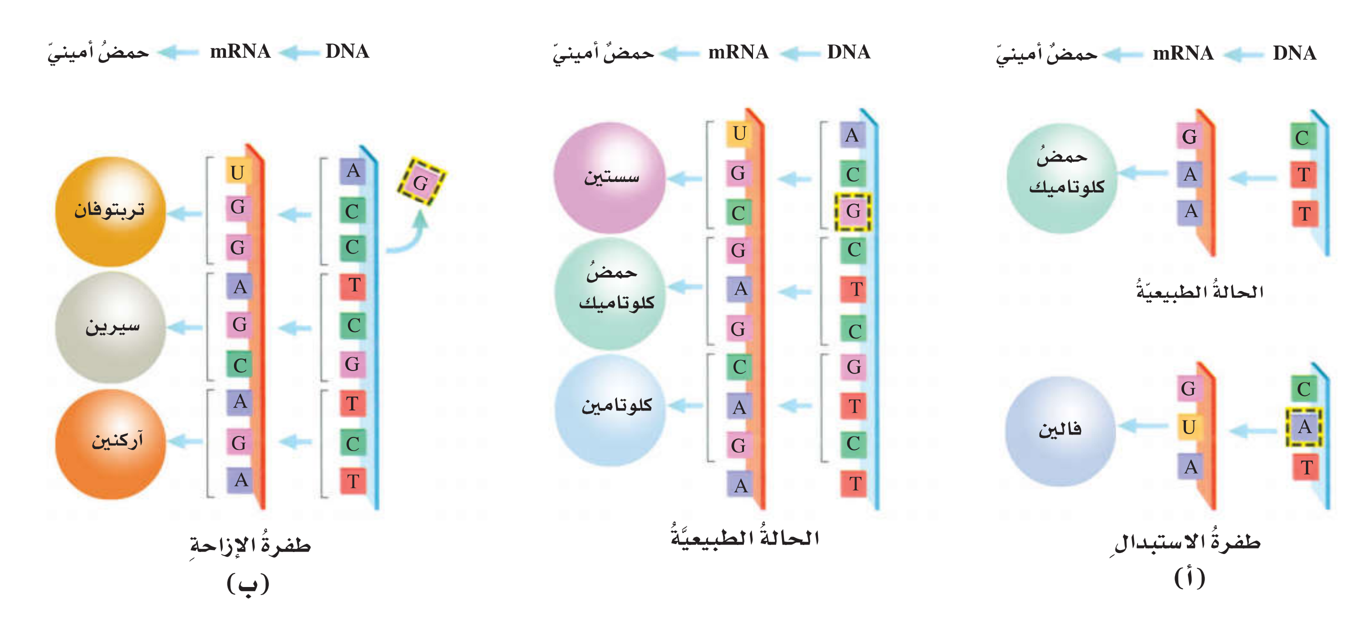
الشكل 9-6
الطفراتُ الكروموسوميةُ

تتسبَّبُ **الطفراتُ القاتلةُ Lethal mutations** في الموتِ قبلَ الولادةِ في أغلبِ الأحيانِ. إلا أن بعضَ الطفراتِ قد يؤدي إلى طُرُزٍ مظهريّةٍ مفيدةٍ للفردِ. تملكُ الكائناتُ الحيَّةُ ذاتُ الطفراتِ المفيدةِ فرصًا أفضلَ للبقاءِ على قيدِ الحياةِ والتكاثرِ. يمكنُ للطفراتِ أن تتمثّلَ في تغيُّراتٍ على مستوى كروموسومٍ كاملٍ، أو في نيوكليوتيدٍ واحدٍ من DNA.

الطفراتُ الكروموسوميَّةُ

تتمثلُ الطفراتُ الكروموسوميَّةُ في تغيُّراتٍ في تركيبِ كروموسومٍ معينٍ أو في نقصٍ أو زيادةِ كروموسومٍ معيَّنٍ. الشكل 9-6 يظهرُ ثلاثةَ أنواعٍ من الطفراتِ الكروموسوميّةِ. **الحذفُ Deletion** هو فقدٌ لجزءٍ من كروموسومٍ بسببِ الكَسْرِ. **الانقلابُ Inversion**، ومعهُ ينكسرُ جزءٌ من كروموسومٍ، وينقلبُ ثم يتَّحِدُ مجددًا مع الكروموسومِ نفسِه. **الانتقالُ Translocation**، ومعهُ ينكسرُ جزءٌ من كروموسومٍ معينٍ ويتّحدُ بكروموسومٍ غيرِ متماثلٍ. في حالةِ **عدمِ الانفصالِ Nondisjunction**، لا ينفصلُ كروموسومٌ معيَّنٌ عن نظيرِه أثناءَ الانشطارِ الاختزاليّ. فيتلقى مشيجٌ واحدٌ كروموسومًا إضافيًّا، فيما ينقصُ الكروموسومُ هذا في المشيجِ الآخرِ. الشكل 9-7 يبيِّنُ مثلاً على عدمِ الانفصالِ الذي يؤدّي إلى **متلازمةِ داون Down Syndrom**.

الشكل 9-7
بعضُ الطفراتِ الكروموسوميّةِ هي عبارةٌ عن نقصٍ أو زيادةِ كروموسوماتٍ كاملةٍ. إن الطفرةَ التي تزوِّدُ شخصًا معيَّنًا بثلاثةِ كروموسوماتٍ 21 تؤدّي إلى متلازمةِ داون.



الشكل 8-9
الطفراتُ الجينيَّةُ

الطفراتُ الجينيَّةُ

إن استبدالَ أو إضافةَ أو حذفَ نيوكليوتيدٍ واحدٍ هو **طفرةٌ موضعيّةٌ Point mutation**، وهي تغيُّرٌ يحدثُ في جينٍ واحدٍ أو في قطعةٍ من DNA على الكروموسوم. ففي **الاستبدالِ Substitution** يحلُّ نيوكليوتيدٌ واحدٌ محلَّ نيوكليوتيدٍ آخر، الشكل 9-8 أ. إذا حدثَ هذا الاستبدالُ في كودونٍ معيَّن، فقد يتغيّرُ الحمضُ الأمينيُّ. وفي طفرةِ الحذفِ، يتمُّ فقدُ نيوكليوتيدٍ واحدٍ أو أكثرَ من جينٍ معيَّن. وقد يؤدّي هذا الفقدُ إلى تشكيلٍ غيرِ صحيحٍ للكودوناتِ المتبقيّةِ، ويسمّى هذا **طفرةَ الإزاحةِ Frameshift mutation**، وهي التي تؤدّي إلى تغيُّرِ جميعِ الأحماضِ الأمينيَّةِ التي تقعُ بعدَها، الشكل 9-8 ب. هذه الطفرةُ يمكنُ أن تؤدّيَ إلى تأثيراتٍ خطيرةٍ في وظيفةِ البروتين. أما في **طفراتِ الإضافةِ Insertion mutations** فيتمُّ إدخالُ نيوكليوتيدٍ واحدٍ أو أكثرَ إلى جينٍ معيَّن، مما قد يؤدّي إلى طفرةِ الإزاحةِ أيضًا.

مراجعةُ القسمِ 9-1

1. كيف يؤدّي توارثُ الكروموسوماتِ الجنسيّةِ إلى نسبٍ متساويةٍ تقريبًا من الذكورِ والإناثِ عند أبناءِ ذبابةِ الفاكهة؟
2. لماذا لم يجدْ موركان أيَّ ذبابةِ فاكهةٍ أنثى بيضاءَ العينينِ في الجيلِ الأولِ عندما أجرى تزاوجًا بين ذكورٍ بيضاءِ العيونِ وإناثٍ حمراءِ العيونِ؟
3. قارنْ بين الكروموسوماتِ الجنسيَّةِ والكروموسوماتِ الجسميَّةِ.
4. كيف يمكنُ استخدامُ العبورِ بين أليلينِ في وضعِ خريطةٍ لموقعهما على الكروموسوم؟
5. وضِّحْ كيف يؤدّي عدمُ الانفصالِ إلى تغيُّرٍ في عددِ الكروموسومات.

تفكيرٌ ناقدٌ

6. أيُّ تزاوجٍ كان يمكنُ لمورجان أن ينفِّذَهُ لإنتاجِ أولِ ذبابةِ فاكهةٍ أنثى بيضاءِ العينين؟
7. تحدثُ الطفراتُ الكروموسوميّةُ، غالبًا، خلالَ الانقسامِ الخلويِّ. برِّرْ صحّةَ هذا القولِ.

علمُ الوراثةِ عند الإنسان

يبحث هذا القسمُ كيفيةَ قيامِ علماءِ الوراثةِ بتحليلِ بياناتٍ وراثيّةٍ من عائلاتٍ معيّنةٍ لتعقُّبِ توارثِ جيناتِ الإنسانِ. ويستكشفُ أيضًا العواملَ الوراثيّةَ والبيئيّةَ التي تؤثّرُ في السماتِ والاختلالاتِ الوراثيّةِ لدى الإنسانِ. كما يناقشُ كيفيَّةَ تشخيصِ علماءِ الوراثةِ للاختلالاتِ الوراثيّةِ عند الإنسانِ وكيفيّةَ معالجتها.

القســـم

2-9

النواتج التعليمية

▲ يحلِّلُ سجلاّتِ نسَبٍ لتحديدِ كيفيَّةِ توارثِ السماتِ الوراثيّةِ والاختلالاتِ الوراثيّةِ.

● يلخِّصُ الأنماطَ المختلفةَ لتوارثِ السماتِ الوراثيّةِ والاختلالاتِ الوراثيّةِ.

■ يوضحُ توارثَ فصائلِ الدمِ ABO.

◆ يقارنُ بين السماتِ المرتبطةِ بالجنسِ والسماتِ المتأثِّرةِ بالجنسِ.

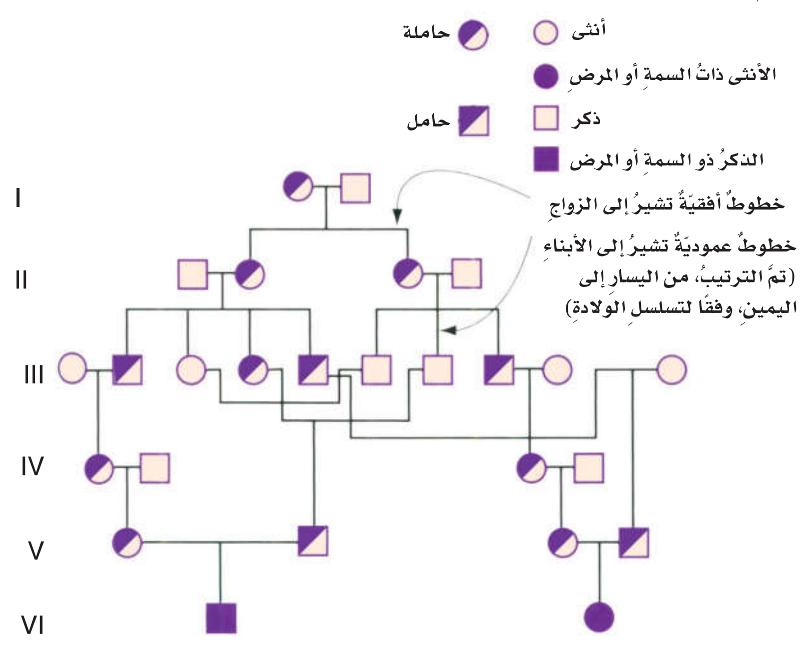
▲ يوضحُ كيفيَّةَ تمكُّنِ علماءِ الوراثةِ من تشخيصِ ومعالجةِ الاختلالاتِ الوراثيّةِ.

توارثُ السمـاتِ

يستطيعُ علماءُ الوراثةِ دراسةَ السماتِ الوراثيّةِ عند الإنسانِ وتعقُّبَ الأمراضِ الوراثيّةِ من جيلٍ إلى جيلٍ تالٍ، عن طريقِ دراسةِ الطرزِ المظهريّةِ لأفرادِ عائلةٍ في سجلِّ نسَبِ العائلةِ.

سجلاّتُ النسَبِ

سجلُّ النسبِ Pedigree هو مخططٌ يُظهِرُ كيفيَّةَ توارثِ سمةٍ على مدى عدةِ أجيالٍ. الشكلُ 9-9 هو سجلُّ نسبٍ لعائلةٍ يصابُ بعضُ أفرادِها بمرضِ التليُّفِ الحوصليِّ. تشيرُ المربَّعاتُ إلى الذكورِ، وتشيرُ الدوائرُ إلى الإناثِ. الرمزُ القاتمُ يعني وجودَ السمةِ أو الحالةِ لدى الشخصِ. الرمزُ الفاتحُ يعني أن السمةَ أو الحالةَ ليستْ موجودةً لدى الشخصِ. الخطُّ الأفقيُّ الذي يصلُ بين أنثى وذكرٍ يشيرُ إلى الزواجِ. الخطُّ العموديُّ يشيرُ إلى الأبناءِ الذين تمَّ ترتيبُهُمْ من اليسارِ إلى اليمينِ وفقًا لتسلسلِ الولادةِ. الأرقامُ الرومانيّةُ تشيرُ إلى الأجيالِ المختلفةِ.



الشكل 9-9
يبينُ سجلُّ نَسَبِ العائلةِ هذا لمرضِ التليُّفِ الحوصليِّ أن كلاً من الشخصين المصابين بالمرضِ، في الجيلِ السادسِ، هو من أبوين سليمين. لاحظْ أن أليلَ مرضِ التليُّفِ الحوصليِّ، انتقلَ من الجيلِ الأوّلِ، عبرَ الأجيالِ الأربعةِ التاليةِ، دون أن يتمَّ التعبيرُ عنهُ. أدّى الزواجُ بين أفرادِ العائلةِ نفسِها، على مدى الأجيالِ الأربعةِ تلك، إلى ولادةِ شخصين مصابين بالمرضِ لدى كلٍّ منهما الأليلانِ المتنحّيانِ لجينِ التليُّفِ الحوصليِّ.

أنماطُ التوارثِ

يتوصَّلُ علماءُ الأحياءِ إلى معرفةِ الكثيرِ عن الأمراضِ الوراثيّةِ عن طريقِ تحليلِ *أنماطِ التوارثِ* *Patterns of inheritance*، أي تحليل التعبيرِ عن الجيناتِ على مدى الأجيالِ. تساهمُ سجلاّتُ النَّسبِ في تفسيرِ أنماطِ التوارثِ. مثلاً، إذا كانتِ السمةُ جسميَّةً، فإنها ستظهرُ، وبصورةٍ متساويةٍ، عند الجنسينِ (الذكورِ والاناثِ). أما إذا كانتْ مرتبطةً بالجنسِ، فإنها تظهرُ عادةً لدى الذكورِ فقط. إن معظمَ السماتِ المرتبطةِ بالجنسِ متنحِّيةٌ.

إذا كانتِ السمةُ جسميّةً وسائدةً، فإن كلَّ فردٍ يُظهِرُ السمةَ يكونُ أحدُ أبويهِ قد أظهرَها. وإذا كانتِ السمةُ جسميَّةً ومتنحِّيةً، فإن كلَّ شخصٍ يُظهرُها يمكنُ أن يكونَ أحدُ أبويهِ أو كلاهُما قد أظهرَها، كما يمكنُ أن لا يكونَ أيٌّ منهُما قد أظهرَها.

إذا كانَتْ السماتُ الجسميَّةُ للأفرادِ سائدةً نقيَّةً أو هجينةً، فإن طرازَ هؤلاءِ الأفرادِ المظهريَّ سيُظهِرُ السمةَ السائدةَ. أما إذا كانتِ السماتُ الجسميَّةُ للأفرادِ نقيَّةً ومتنحِّيةً فإن طرازَ الأفرادِ المظهريَّ سيُظهِرُ السمةَ المتنحِّيةَ. إن شخصينِ هجينينِ وحاملينِ طفرةً متنحِّيةً، لن يُظهِرا الطفرةَ، إلا أنهما قادرانِ على إنجابِ أفرادٍ نقيَّةٍ للألّيلِ المتنحّي.

يبينُ سجلُّ نسبِ العائلةِ، في الشكلِ 9-9، أن مرضَ التليُّفِ الحوصليِّ يُورَّثُ كسمةٍ جسميَّةٍ متنحِّيةٍ. والأفرادُ، كأولئكَ الأربعةِ في الجيلِ الخامسِ في سجلِّ نَسبِ العائلةِ، يُسَمَّونَ **حاملين Carriers**، لأن لديهم ألِّيلاً واحدًا متنحِّيًا فقط، ولكنهم غيرُ مصابينَ بالمرضِ. بالرغمِ من أن الحاملينَ لا يعبِّرونَ عن الألِّيلِ المتنحّي، إلاّ أنه يمكنُهُمْ نقلُهُ إلى أبنائِهِم.

الصفاتُ والاختلالاتُ الوراثيَّةُ

تظهرُ الجيناتُ التي تتحكّمُ في سماتِ الإنسانِ أنماطًا عديدةً من التوارثِ. بعضُ هذه الجيناتِ يتسبَّبُ في اختلالاتٍ وراثيّةٍ. **الاختلالاتُ الوراثيّةُ Genetic disorders**، هي أمراضٌ أو حالاتُ إعاقةٍ سببُها وراثيٌّ.

الصفاتُ متعدِّدةُ الجيناتِ

يمكنُ لجيناتٍ مفردةٍ ذاتِ أليلينِ، أو أكثرَ، أن تحددَ السماتِ، كفصيلةِ الدمِ أو مرضِ التليُّفِ الحوصليِّ. لقد توصَّلَ علماءُ الوراثةِ، إلى أن معظمَ الصفاتِ لدى الإنسانِ صفاتٌ **متعدِّدةُ الجيناتِ Polygenic**، أي إنها صفاتٌ تتأثَّرُ بجيناتٍ متعدِّدةٍ. تظهرُ الصفاتُ المتعدِّدةُ الجيناتِ تدرُّجًا في هذه الصفاتِ. فلونُ البشرةِ، مثلاً، يَنتجُ عن التأثيراتِ المجتمعةِ لعددٍ من الجيناتِ بين ثلاثةٍ وستةِ جيناتٍ. تتحكَّمُ هذه الجيناتُ في كميّةِ الصبغةِ السوداءِ المائلةِ إلى البنيِّ في الجلدِ، التي تسمى *الميلانين Melanin*. وكلما زادتْ كميَّةُ الميلانينِ التي تنتجُها خلايا الجلدِ أصبح لونُ الجلدِ داكنًا أكثرَ. لكلٍّ من هذه الجيناتِ، وعددُها بين 3 و 6، أليلٌ مسؤولٌ عن إنتاجِ كمِّيّاتٍ

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

متعدِّدُ الجينات

Polygenic

من اليونانيّةِ poly وتعني «متعدد»، و genesis وتعني «المصدر»

قليلةٍ من الميلانين، وأليلٌ مسؤولٌ عن إنتاج كمياتٍ كبيرةٍ من الميلانين. والكميةُ النهائيةُ من الميلانين، في جلدِ شخص لا يتعرضُ لضوءِ الشمس، تنتجُ عن عددِ الأليلات المسؤولةِ عن الكمياتِ الكبيرةِ من الميلانين في الجيناتِ القليلةِ التي تتحكمُ في لونِ الجلدِ. ومن الصفاتِ المتعددةِ الجيناتِ أيضًا لونُ العينين والطولُ ولونُ الشعر.

الصفاتُ المركَّبةُ

العديدُ من الصفاتِ لدى الإنسانِ **صفاتٌ مركبةٌ Complex characters**، أي صفاتٌ تتأثَّرُ، إلى حدٍّ كبيرٍ، بالبيئةِ وبالجيناتِ معًا. لونُ الجلدِ صفةٌ متعددةُ الجيناتِ ومركبةٌ في الوقتِ نفسِه. يتسببُ تعرُّضُ الجلدِ لضوءِ الشمس، بصورةٍ عامةٍ، في جعلِه داكنًا أكثر، مهما كان الطرازُ الجينيُّ للونِ الجلدِ. وطولُ الإنسانِ صفةٌ أخرى متعددةُ الجيناتِ يتحكمُ فيها عددٌ غيرُ معروفٍ من الجيناتِ التي تؤثرُ في نموِّ الهيكلِ العظميِّ. إلا أن الطولَ يتأثرُ كذلك بعواملَ بيئيةٍ، كالتغذيةِ والمرض.

وهناك صفاتٌ معقدةٌ أخرى تلعبُ دورًا في أمراضٍ وحالاتٍ كسرطانِ الثدي ومرضِ البولِ السكريِّ وأمراضِ القلبِ وانفصامِ الشخصيةِ. مثلاً، تحدثُ معظمُ حالاتِ سرطانِ الثدي لدى نساءٍ ليس لهنَّ تاريخٌ عائليٌّ لهذا المرض. إلا أن سرطانَ الثدي يُورَّثُ في بعضِ العائلاتِ أيضًا.

يأملُ علماءُ الأحياءِ، عن طريقِ تحديدِ المكوناتِ البيئيةِ التي تساهمُ في نشوءِ المرضِ، أن يتمكنوا من تثقيفِ الناسِ بطرقِ التقليلِ من خطرِ الإصابةِ بالمرض. بالنسبةِ إلى سرطانِ الثدي، مثلاً، تشتملُ عواملُ الخطرِ غيرُ الوراثيةِ على النظامِ الغذائيِّ الغنيِّ بالدهونِ المشبعةِ.

الأليلاتُ المتعددةُ

توصفُ الجيناتُ ذاتُ الثلاثةِ أليلاتٍ أو أكثرَ بأنها **متعددةُ الأليلات Multiple alleles**. مثلاً، عند الإنسانِ، تتحكمُ ثلاثةُ أليلات، هي I^A، وI^B، و i بفصائلِ الدمِ ABO. الأليلانِ I^A و I^B لهما سيادةٌ مشتركةٌ. في **السيادةِ المشتركةِ Codominance**، يتمُّ التعبيرُ عن الأليلينِ معًا في الطرازِ المظهريِّ للفردِ الهجين. كلا I^A و I^B سائدانِ على الأليلِ المتنحي i. يتحكمُ الأليلانِ I^A و I^B في تكوينِ شكلين

الشكل 9-10
توارثُ فصائلِ الدمِ.

فصيلةُ الدم	مولِّدُ الضدِّ على سطحِ خليةِ الدمِ الحمراءِ	الطرازُ الجيني
A		I^AI^A أو I^Ai
B		I^BI^B أو I^Bi
AB		I^AI^B
O	لا يوجد	ii

(أ) فصائلُ الدم

I فصيلةُ الدم: A × B ؛ A × B
الطرازُ الجينيُّ: I^AI^A × I^BI^B ؛ I^Ai × I^Bi

II فصيلةُ الدم: AB ؛ A، B، AB، O
الطرازُ الجينيُّ: I^AI^B ؛ I^Ai، I^Bi، I^AI^B، ii

(ب) توارثُ أليلاتِ فصائلِ الدم

مختلفين من أنزيمٍ معيَّنٍ يتسببانِ في ظهورِ جزيئينِ مختلفينِ من مولِّدِ الضدِّ على أسطحِ خلايا الدمِ الحمراءِ. أما الأليلُ i فإنه لا يؤدّي إلى تنشيطِ أيٍّ من شكلَيِّ الأنزيمِ ولهذا لن يظهرَ أيٌّ من مولِّدَيِ الضدِّ على سطحِ خليّةِ الدمِ الحمراءِ. الشكلُ 9-10 أ يبيّنُ كيفَ يمكنُ للأليلاتِ الثلاثةِ أن تتقابلَ على شكلِ أزواجٍ لإنتاجِ أربعةِ فصائلِ دمٍ مختلفةٍ: A، وB، وAB، وO. تنبَّهْ إلى أن الشخصَ الذي يرثُ أليلين i تكونُ فصيلةُ دمِهِ O. الشكلُ 9-10 ب يبيّنُ كيفيّةَ توارثِ فصيلةِ الدمِ.

السيادةُ غيرُ التامّةِ

يُظهرُ الفردُ، أحيانًا، سمةً وسطيّةً بين سمتَيِ الأبوين، وهذه حالةٌ تسمّى **السيادةَ غيرَ التامّةِ** **Incomplete dominance**. مثلاً، لدى القوقازيينَ ينجبُ أبوانِ، أحدُهما أملسُ الشعرِ والآخرُ مجعّدُ الشعرِ، ابنًا متموّجَ الشعرِ. الشعرُ الأملسُ والشعرُ المجعّدُ سمتانِ نقيتانِ. أما الشعرُ المتموّجُ فسمةٌ هجينةٌ ووسطيّةٌ بين الأملسِ والمجعّدِ.

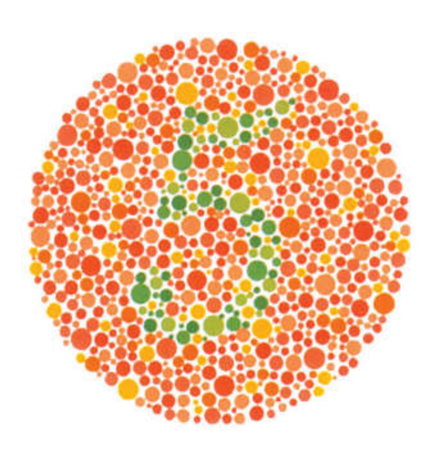
السماتُ المرتبطةُ بالكروموسومِ X

تحدَّدُ بعضُ الصفاتِ المركَّبةِ بجيناتٍ مرتبطةٍ بالكروموسومِ X، ويُظهرُ سجلُّ النَّسبِ عادةً، عدةَ ذكورٍ مصابينَ وإناثًا غيرَ مصابات. يرثُ الذكرُ الكروموسومَ X من أمِّهِ. أحدُ أشكالِ عمى *الألوانِ Colorblindness* هو خللٌ يَنتجُ عن أليلٍ متنحٍّ مرتبطٍ بالكروموسومِ X، ولا يستطيعُ معهُ الفردُ التمييزَ بين ألوانٍ معيَّنةٍ، كالأحمرِ والأخضرِ. العديدُ من الجيناتِ المرتبطةِ بالكروموسومِ X مسؤولةٌ عن بناءِ بروتيناتٍ تمتصُّ الضوءَ الأحمرَ أو الأخضرَ في العينِ. يحدثُ عمى الألوانِ الأحمرُ-الأخضرُ نتيجةَ طفراتٍ تعطِّلُ هذه الجينات، بحيثُ لا تتمكنُ العينُ من امتصاصِ بعضِ ألوانِ الضوءِ. غالبًا ما يُجري أطباءُ العيونِ اختبارًا للمصابينَ بعمى الألوانِ عن طريقِ استخدامِ رسمٍ مماثلٍ للرسمِ الظاهرِ في الشكلِ 9-11.

السماتُ المتأثّرةُ بالجنسِ

إن **السماتِ المتأثّرةَ بالجنسِ** **Sex-influenced traits**، تعنى بصفاتٍ معقَّدةٍ أخرى. يمكنُ للذكورِ وللإناثِ أن يظهروا طُرُزًا مظهريّةً مختلفةً حتى وإن كانوا من ذوي الطرازِ الجينيِّ نفسِه. السماتُ المتأثّرةُ بالجنسِ هي عادةً، سماتٌ جسميّةٌ. مثلاً، يتحكمُ أليلٌ سائدٌ لدى الذكورِ، ومتنحٍّ لدى الإناثِ، بأنماطِ الصلَعِ، أي بنوعِ الصلعِ الذي يوجدُ عند الذكورِ عادةً. ويعودُ الفرقُ في ظهورِ السمةِ عندَ الذكورِ أكثرَ من الإناثِ إلى الكميّاتِ المرتفعةِ من هرمونِ التستسترونِ لدى الذكورِ، الذي يتفاعلُ مع الطرازِ الجينيِّ لإنتاجِ نمطِ الصلعِ.

الشكل 9-11
الشخصُ المصابُ بعمى الألوانِ الأحمرِ-الأخضرِ لا يقدرُ على رؤيةِ الرقمِ 5 في وسطِ الدائرةِ، في هذا الرسمِ الاختباريِّ لرؤيةِ الألوانِ.

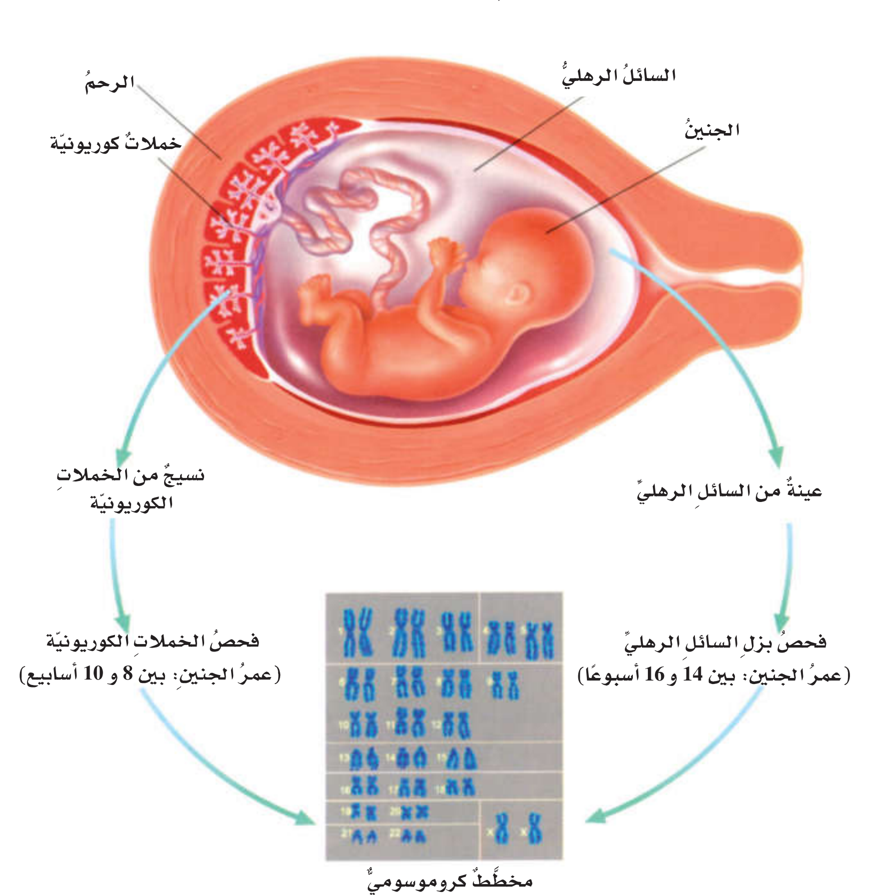


السماتُ ذاتُ الأليلِ الواحدِ

يتحكّمُ أليلٌ واحدٌ، لجينٍ معيَّن، في السماتِ ذاتِ الأليلِ الواحدِ. لقد اكتشفَ علماءُ الوراثةِ أن ما يزيدُ عن 200 من سماتِ الإنسانِ، يخضعُ لتحكُّمِ أليلاتٍ سائدةٍ منفردةٍ. إن **مرضَ هانتنغتون Huntington's disease (HD)**، هو حالةٌ جسميّةٌ سائدةٌ تتصفُ بالنسيانِ وحِدَّةِ الطبعِ. يظهرُ المرضُ عند بلوغِ الفردِ المصابِ سنَّ الـ 30 أو الـ 40، ويتطوَّرُ على صورةِ تشنُّجاتٍ عضليّةٍ، ومرضٍ عقليٍّ حادٍّ، وينتهي بالوفاةِ. بما أن كلَّ فردٍ هجينٍ حاملٍ لهذا المرضِ لديه الجينُ السائدُ، فإن كلَّ شخصٍ مصابٍ يكونُ على الأقلِّ أحدُ أبويْهِ مصابًا. ولسوءِ الحظِّ، يكونُ الكثيرونَ من المرضى المصابينَ بـ HD قد أنجبوا أولادًا قبل ظهورِ أعراضِ المرضِ لديهم. إن الفحصَ المباشرَ لـ DNA يساعدُ على إجراءِ تشخيصٍ مبكرٍ لأليلِ HD.

تشخيصُ الأمراضِ الوراثيّةِ

يخضعُ الكثيرُ من الناسِ، الذين يظهرُ مرضٌ وراثيٌّ في تاريخِ عائلاتِهم، لفحصٍ وراثيٍّ قبلَ إنجابِ الأولادِ. *الفحصُ الوراثيُّ* *Genetic screening*، هو فحصٌ للمكوِّناتِ الوراثيَّةِ لشخصٍ معيَّنٍ. قد يشتملُ ذلك على مخططاتٍ كروموسوميّةٍ، أو فحوصٍ لبروتيناتٍ معيّنةٍ في الدمِ، أو فحوصٍ مباشرةٍ لـ DNA كذلك. وقد صارَ في وسعِ الأطباءِ حاليًّا، تشخيصُ ما يزيدُ على 200 من الاختلالاتِ الوراثيّةِ لدى الجنين. في التقنيةِ التي تسمى **بزلَ السائلِ الرهلي Amniocentesis**، الشكل 9-12، يأخذُ الطبيبُ بعضَ السائلِ الرهليِّ من الكيسِ الرهليِّ، أي الغشاءِ الذي يحيطُ بالجنينِ، بين الأسبوعِ الرابعَ عشرَ والأسبوعِ السادسَ عشرَ من الحملِ. ويستطيعُ علماءُ الوراثةِ تحليلَ الخلايا الجنينيّةِ، بحثًا عن الأمراضِ الوراثيّةِ، عن طريقِ فحصِ الكروموسوماتِ، والبروتيناتِ الموجودةِ في السائلِ. وفي **فحصِ الخملاتِ الكوريونيةِ Chorionic villi sampling**، الشكل 9-12، يأخذُ الطبيبُ عينةً من خلايا الخملاتِ الكوريونيّةِ، بين الأسبوعِ الثامنِ والعاشرِ. وكلتا الطريقتينِ تمكنُ التقنيِّينَ من تحليلِ خلايا جنينيّةٍ وكروموسوماتٍ وبروتيناتٍ جنينيّةٍ وتشخيصِ أمراضٍ وراثيّةٍ.



الشكل 9-12

يستطيعُ علماءُ الوراثةِ استخدامَ الخلايا الجنينيّةِ، التي يتمُّ الحصولُ عليها عن طريقِ بزلِ السائلِ الرهليِّ أو فحصِ الخملاتِ الكوريونيّةِ، لوضعِ مخططاتٍ كروموسوميّةٍ جنينيّةٍ يمكنُها أن تظهرَ طفراتٍ كروموسوميّةً. وهذا يسمحُ للأطباءِ بتشخيصِ الاختلالاتِ الكروموسوميّةِ قبل ولادةِ الطفلِ.

الجدولُ 1-9 بعضُ الاختلالاتِ الوراثيّةِ المهمةِ، والأعراضُ، وأنماطُ التوارثِ

المرض (الجين)	الأعراضُ	البروتينُ السليمُ، الوظيفةُ، التأثيرُ	نمطُ التوارثِ والموقعُ على الكروموسوم	النسبةُ ضمنَ ولاداتِ الإنسانِ
مرضُ هانتنغتون (الجين HD)	تلفٌ تدريجيٌّ في نسيجِ الدماغِ لدى متوسطِي العمرِ، قصرُ مدى الحياةِ المتوقَّعِ	البروتينُ هانتنغتين، معنيٌّ بحركةِ انتقالِ الحويصلاتِ في الخلايا العصبية، تسبِّبُ الطفرةُ إنتاجَ نسخٍ إضافيَّةٍ من الكودون CAG في الجين	جسميٌّ سائدٌ، على الكروموسوم 4	1 من أصل 10,000
التليُّفُ الحوصليُّ (الجين *CFTR*)	تسدُّ الموادُّ المخاطيّةُ الرئتين والبنكرياسَ، يعيشُ المصابونَ اليومَ حتى سنِّ الرشدِ المبكرةِ أو أكثرَ	الجينُ المسؤولُ عن التليُّفِ الحوصليّ، ينظِّمُ نقلَ أيوناتِ الكلوريدِ في الخلايا الطلائيَّةِ	جسميٌّ متنحٍّ، على الكروموسوم 7	1 من أصل 900 كَنَديٍّ من أصولٍ فرنسيّةٍ، 1 من أصلِ 2000 أوروبي
فقرُ الدمِ المنجليُّ (الجين HBB)	تلفٌ في الأعضاءِ بسببِ سوءِ الدورةِ الدمويّةِ	بيتاكلوبين، ينقلُ الأوكسجين في الدم، تسبِّبُ الطفرةُ تغيُّرًا في شكلِ خلايا الدمِ الحمراءِ وانسدادَ الشعيراتِ الدمويّةِ	جسميٌّ متنحٍّ، على الكروموسوم 11	1 من أصل 500 أمريكيٍّ من أصلٍ أفريقيٍّ
فنيل كيتونيوريا (الجين PAH)	إخفاقٌ في النموِّ الطبيعيِّ للدماغِ لدى الأطفالِ الرضعِ، الموتُ في سنِّ الطفولة	الأنزيمُ فنيل ألانين هيدروكسيليز، يحفِّزُ تحوُّلَ الحمضِ الأمينيِّ الفنيل ألانين إلى تايروسين، في غيابِ الأنزيمِ تتراكمُ مادةٌ سمِّيَّةٌ	جسميٌّ متنحٍّ، على الكروموسوم 12	1 من أصل 18,000 أمريكيٍّ
سرطانُ الثديِ (الجين BRCA1)	أورامٌ خبيثةٌ في نسيجِ الثدي	سرطانُ الثدي-1، يثبِّطُ نموَّ أورامِ الثدي والمبايض، على الأرجحِ عن طريقِ حثِّ إصلاحِ الأضرارِ التي تصيبُ DNA	جسميٌّ سائد، على الكروموسوم 17	حوالي 8% من مرضى سرطانِ الثدي
مرضُ نزفِ الدمِ (الجين F8)	نزفٌ دمويٌّ متواصلٌ بسببِ إخفاقِ تجلطِ الدم	عاملُ التجلطِ 8، يسهمُ في تجلطِ الدم، البروتينُ الناتجُ عن الطفرةِ لا يسهمُ في التجلطِ	مرتبطٌ بالكروموسوم X ومتنحٍّ	1 من أصل 7,000
مرضُ تاي - ساكس (الجين HEXA)	تلفٌ يصيبُ الجهازَ العصبيَّ المركزيَّ في سنِّ الطفولة، حدوثُ الوفاةِ في سنِّ طفولةٍ مبكرةٍ	أنزيمُ هكسوسامينيديز A؛ يفكِّكُ الفضلاتِ الخلويّةَ في الليسوسوم، تسبِّبُ الطفرةُ تراكمَ الفضلاتِ الذي يُحدثُ موتَ الخليّةِ العصبيَّةِ	جسميٌّ متنحٍّ، على الكروموسوم 15	1 من أصل 600 يهوديٍّ من أصلٍ أوروبيٍّ

الاستشارةُ الوراثيّةُ

يخضعُ العديدُ من الناسِ الذين يظهرُ مرضٌ وراثيٌّ في تاريخِ عائلاتِهم **للاستشارةِ الوراثيّةِ Genetic counseling**، وهي عمليّةٌ يتمُّ بها إعلامُ شخصٍ أو متزوِّجَين بخصائصَ تتعلَّقُ بتكوينِهما الجينيِّ. الاستشارةُ الوراثيّةُ هي شكلٌ من أشكالِ التوجيهِ الطبِّيِّ الذي يزوِّدُ الأفرادَ بمعلوماتٍ حولَ المشكلاتِ التي قد يتعرّضُ لها أبناؤهم. يمكنُ للمستشارِ في الأمورِ الوراثيّةِ أن يتوقَّعَ احتمالَ إنجابِ زوجينِ لطفلٍ مصابٍ، وذلك عن طريقِ دراسةِ البياناتِ الناتجةِ عن الفحوصِ الوراثيّةِ وعن سجلِّ نَسَبِ العائلةِ.

بالنسبةِ إلى الأمراضِ التي تتأثَّرُ بعواملَ وراثيّةٍ وبيئيةٍ معًا، كمرضِ السكريِّ، يمكنُ للأطبّاءِ وللمستشارينَ أن ينصحوا العائلاتِ حولَ كيفيَّةِ خفضِ عواملِ الإصابةِ المحتملةِ.

معالجةُ المرضِ الوراثيِّ

يمكنُ للأطباءِ أن يعالجوا الأمراضَ الوراثيّةَ بعدّةِ طرقٍ. فهم، بالنسبةِ إلى الكثيرِ من الأمراضِ، يستطيعونَ الاكتفاءَ بمعالجةِ الأعراضِ وحدَها. فمثلاً، يفتقرُ الشخصُ المصابُ بمرضِ فنيل كيتونيوريا Phenylketonuria (PKU) الوراثيِّ إلى الأنزيمِ الذي يحوِّلُ الحمضَ الأمينيَّ الفنيلَ ألانين إلى الحمضِ الأمينيِّ التايروسين. يتراكمُ الفنيل ألانين في الجسمِ ويتسبَّبُ في إعاقةٍ عقليّةٍ حادّةٍ. يصفُ الأطبّاءُ حميةً غذائيّةً قاسيةً للمصابينَ بمرضِ فنيل كيتونيوريا لإلغاءِ الحمضِ الأمينيِّ الفنيل ألانين من نظامِهم الغذائيِّ. ويمكنُ تشخيصُ مرضِ PKU عن طريقِ فحصِ الدمِ الذي يخضعُ لهُ الأطفالُ خلالَ الأيامِ الأولى من حياتِهم.

بالنسبةِ إلى مرضى التليُّفِ الحوصليِّ، يصفُ لهم الأطباءُ الخضوعَ لجلساتٍ، مدةُ كلٍّ منها 45 دقيقةً، يُستخدمُ فيها الطَّرْقُ على الظهرِ وعلى الصدرِ بهدفِ طردِ الموادِّ المخاطيّةِ اللزجةِ.

وبالنسبةِ إلى بعضِ الأمراضِ، يمكنُ للأطباءِ أن يتخذوا تدابيرَ وقائيّةً ضدَّ أعراضِ المرضِ. مثلاً، قد يصفُ الطبيبُ حُقَنَ الأنسولينِ لمرضى البولِ السكريِّ. أما المرضى المصابينَ بمرضِ نزفِ الدمِ، فقد يصفُ لهم الطبيبُ الحَقْنَ ببروتينِ تجلُّطِ الدمِ المفقودِ عندهم. حتى أنه يمكنُ للأطبّاءِ إجراءُ بعضِ أنواعِ العمليّاتِ الجراحيّةِ لإصلاحِ بعضِ الاختلالاتِ الوراثيّةِ لدى الجنين، قبلَ الولادةِ.

المعالجةُ الجينيَّةُ

يُعنى مستوى آخرُ من المعالجةِ، وهو قيدُ التطوُّرِ حاليًّا، باستبدالِ الجينِ غيرِ السليمِ. يسمى هذا النوعُ من المعالجةِ **المعالجةَ الجينيّةَ Gene therapy**، وهو تقنيّةٌ يتمُّ خلالَها إدخالُ جينٍ سليمٍ في خلايا الشخصِ الذي يكونُ الجينُ لديه غيرَ سليمٍ. تستندُ المعالجةُ الجينيّةُ إلى معرفةِ تتابعِ القواعدِ النيتروجينيّةِ للجينِ.

يضعُ الباحثونَ الطبيونَ أليلاً فاعلاً للجينِ المختصِّ بالمرض، كالجينِ *CFTR* المسؤولِ عن عدمِ الإصابةِ بالتليُّفِ الحوصليِّ مثلاً، في DNA فيروسٍ معيَّن. بعدها، يدخلونَ الفيروسَ المعدَّلَ إلى رئتَي المريض، حيثُ يقومُ الفيروسُ بإصابةِ الخلايا حاملاً معه الجينَ الفاعلَ. وهذا يخفِّفُ من أعراضِ المرض، حتى انسلاخِ الخلايا المصابةِ فقط. عندها، يجبُ على المريضِ أن يخضعَ للعمليّةِ من جديدٍ. ويعملُ الباحثونَ على زيادةِ فاعليّةِ المعالجةِ الجينيّةِ.

تسمى المعالجةُ الجينيّةُ التي يجرى فيها تحويرُ الخلايا الجسميّةِ فقط: ***المعالجةَ الجينيّةَ للخلايا الجسميّةِ*** *Somatic cell gene therapy*. تختلفُ هذه المعالجةُ عن ***المعالجةِ الجينيّةِ للخلايا التناسليّةِ*** *Germ cell gene therapy*، وهي محاولةُ تحويرِ البيوضِ أو الحيواناتِ المنويّةِ. يعتبرُ أخصائيو الأخلاقيّاتِ الأحيائيّةِ، الذين يدرسونَ المواضيعَ الأخلاقيّةَ في الأبحاثِ الأحيائيّةِ عامّةً، أن المعالجةَ الجينيّةَ للخلايا الجسميّةِ امتدادٌ للطبِّ الاعتياديِّ، حيثُ الهدفُ تحسينُ الوضعِ الصِّحِّيِّ للمرضى. إلا أن المعالجةَ الجينيّةَ للخلايا التناسليّةِ تتسبّبُ في مخاطرَ وتداعياتٍ أخلاقيّةٍ أكثرَ، وذلك لاحتمالِ إصابةِ الأجيالِ اللاحقةِ لأسبابٍ غيرِ متوقعة.

مراجعةُ القسمِ 2-9

1. أنجبَ زوجانِ ابنًا مصابًا بمرضِ التليُّفِ الحوصليِّ. وكان المولودُ الثاني، بنتًا، غيرَ مصابةٍ بالمرض. ضعْ سجلَّ نَسبٍ لهذه العائلة.

2. ما الفرقُ بين الصفةِ المتعدّدةِ الجينات والصفةِ المركّبة؟

3. الطرازانِ الجينيّانِ لفصيلةِ الدم لزوجٍ وزوجتِه هما I^AI^B و $i\,i$. ما فصائلُ الدمِ التي يمكنُ أن توجدَ عندَ أولادِهما؟

4. استخدم الجدول 9-1 لمقارنة مرض هانتنغتون بمرضِ فقرِ الدمِ المنجليِّ.

5. ما الطرقُ التي يمكنُ أن يستخدمَها الأطباءُ لتشخيصِ الاختلالاتِ الوراثيّةِ لدى الجنينِ قبل ولادته؟

تفكيرٌ ناقدٌ

6. تزوجتِ امرأةٌ مصابةٌ بالتليُّفِ الحوصليِّ رجلاً هجينًا لمرضِ التليُّفِ الحوصليِّ. ما احتمالُ إصابةِ أولادِهما بمرضِ التليُّفِ الحوصليِّ؟

7. ما الذي يجعلُ الإصابةَ بعمى الألوانِ أقلَّ شيوعًا لدى الإناث؟

8. تزوجَ رجلٌ فصيلةُ دمِهِ B من امرأةٍ فصيلةُ دمِها A. وكانتْ فصيلةُ الدمِ لولدِهما الأوّلِ O. ما احتمالُ أن تكونَ فصيلةُ الدمِ لولدِهما التالي AB، أو B؟

مراجعةُ الفصل 9

ملخصٌ / مفرداتٌ

1-9

- تقعُ الجيناتُ على كروموسومات. تحتوي الكروموسوماتُ الجنسيّةُ على الجيناتِ التي تحدِّدُ جنسَ الفردِ. الكروموسوماتُ الأخرى، غيرُ المعنيّةِ مباشرةً بتحديدِ جنسِ الفردِ، تسمّى الكروموسوماتِ الجسميّةَ.
- في الثدييّاتِ، الفردُ الذي يحملُ كروموسومينِ X هو أنثى والفردُ الذي يحملُ كروموسومينِ X و Y هو ذكر.
- الجيناتُ الموجودةُ على الكروموسومِ X هي جيناتٌ مرتبطةٌ بكروموسوم X. السمةُ المرتبطةُ بالجنسِ هي السمةُ التي يقعُ أليِّلُها على كروموسومٍ جنسيٍّ. بما أن الذكورَ لديهم كروموسومٌ X واحدٌ فقط، فإن الذكرَ الذي يحملُ أليِّلاً متنحّيًا على الكروموسومِ X أو Y سيُظهرُ السمةَ المرتبطةَ بالجنسِ.
- إن أزواجَ الجيناتِ التي تنتقلُ معًا تسمّى الجيناتِ المرتبطةَ. وهي توجدُ متجاورةً على الكروموسومِ نفسِه. كلما بعدتِ المسافةُ بين جينينِ على كروموسوم، زادَ احتمالُ حدوثِ العبور. يستخدمُ الباحثونَ النسبَ المئويّةَ للعبورِ في بناءِ خرائطَ كروموسوميّةٍ تبيِّنُ المواقعَ النسبيّةَ للجيناتِ.
- تحدثُ طفراتُ الخلايا التناسليّةِ في الأمشاجِ ويمكنُ نقلُها إلى الأبناءِ. تحدثُ طفراتُ الخلايا الجسميّةِ في الخلايا الجسميّةِ وتؤثِّرُ في الكائنِ الحيِّ نفسِه فقط.
- تتمثلُ الطفراتُ الكروموسوميّةُ في تغيُّراتٍ في تركيبِ كروموسومٍ معيَّن، أو في حذفِ أو زيادةِ كروموسومٍ كامل. الطفراتُ الجينيّةُ هي تغيُّراتٌ في نيوكليوتيدٍ واحدٍ أو أكثرَ في جينٍ معيَّنٍ.

مفرداتٌ

الاستبدالُ (170) Substitution
الانتقالُ (169) Translocation
الانقلابُ (169) Inversion
الجيناتُ المرتبطةُ (168) Linked genes
الحذفُ (169) Deletion
الخريطةُ الكروموسوميّةُ (168) Chromosome map
السمةُ المرتبطةُ بالجنسِ (167) Sex-linked trait
طفرةُ الإزاحةِ (170) Frameshift mutation
طفرةُ الإضافةِ (170) Insertion mutation
طفرةُ الخليّةِ التناسليّةِ (169) Germ-cell mutation
طفرةُ الخليّةِ الجسميّةِ (169) Somatic-cell mutation
الطفرةُ القاتلةُ (169) Lethal mutation
الطفرةُ الموضعيّةُ (170) Point mutation
عدمُ الانفصالِ (169) Nondisjunction
الكروموسومُ الجسميُّ (166) Autosome
الكروموسومُ الجنسيُّ (166) Sex chromosome
وحدةُ الخريطةِ (169) Map unit

2-9

- يستخدمُ علماءُ الوراثةِ سجلَّ نسَبٍ لتعقُّبِ الأمراضِ أو السماتِ عبرَ العائلاتِ. يظهرُ سجلُّ النسبِ أنماطَ توارثِ الجيناتِ.
- يكونُ لدى الفردِ الحاملِ نسخةٌ واحدةٌ من أليِّلٍ متنحٍّ، لكنه لا يظهرُ السمةَ.
- الصفاتُ المتعدِّدةُ الجيناتِ، كلونِ البشرةِ، يتحكَّمُ فيها ثلاثةُ جيناتٍ أو أكثرُ.
- تتأثَّرُ الصفاتُ المركّبةُ، كالطولِ، بالجيناتِ والبيئةِ معًا.
- الصفاتُ المتعدِّدةُ الأليّلاتِ، كفصائلِ الدمِ ABO، يتحكَّمُ فيها ثلاثةُ أليّلاتٍ أو أكثرُ.
- جينُ عمى الألوانِ، هو جينٌ متنحٍّ ومرتبطٌ بالكروموسوم X.
- عند الرجالِ يتمُّ التعبيرُ عن السمةِ المتأثِّرةِ بالجنسِ، كنمطِ الصلعِ، بشكلٍ مختلفٍ عن التعبيرِ عنها لدى النساءِ، حتى ولو كانت موجودةً على كروموسومٍ جسميٍّ وكان كلٌّ من الذكرِ والأنثى من الطرازِ الجينيِّ نفسِه.
- يستكشفُ الفحصُ الوراثيُّ التكوينَ الجينيَّ لشخصٍ معيَّن، ويستكشفُ المخاطرَ المحتملةَ لنقلِ الاختلالاتِ إلى الأبناءِ. إن بزلَ السائلِ الرهليِّ وفحصَ الخملاتِ الكوريونيّةِ يساعدانِ الأطبّاءَ على معرفةِ الجنينِ، أهو مصابٌ باختلالٍ وراثيٍّ أم لا.
- الاستشارةُ الوراثيّةُ تزوِّدُ الأفرادَ الذينَ تمَّ فحصُهم بالمعلوماتِ حول المشكلاتِ التي يمكنُ أن يتعرَّضَ لها أبناؤهم.
- تتمُّ معالجةُ الاختلالاتِ الوراثيّةِ بطرقٍ متنوعة. منها علاجاتٌ تخففُ من الأعراضِ، ومنها تدابيرُ واقيةٌ من الأعراضِ، كحقنِ الأنسولينِ لمرضى البولِ السكّريِّ.
- المعالجةُ الجينيّةُ نوعٌ من المعالجةِ قيدَ التطويرِ. في المعالجةِ الجينيّةِ، يوضعُ جينٌ سليمٌ مكانَ جينٍ غيرِ سليمٍ.
- المعالجةُ الجينيّةُ للخلايا الجسميةِ تحوِّرُ في الخلايا الجسميّةِ فقط. تستهدفُ المعالجةُ للخلايا التناسليّةِ تحويرَ الخلايا المنويّةِ أو البيوضِ.

مفرداتٌ

الاختلالُ الوراثيُّ (172) Genetic disorder
الاستشارةُ الوراثيّةُ (177) Genetic counseling
بزلُ السائلِ الرهليُّ (175) Amniocentesis
الحاملُ (172) Carrier
سجلُّ النَّسَبِ (171) Pedigree
السمةُ المتأثرةُ بالجنسِ (174) Sex-influenced trait
السيادةُ المشتركةُ (173) Codominance
السيادةُ غيرُ التامةِ (174) Incomplete dominance
الصفةُ المركّبةُ (173) Complex character
فحصُ الخملاتِ الكوريونيّةِ (175) Chorionic villi sampling
المتعدِّدةُ الأليلاتِ (173) Multiple alleles
المتعدِّدُ الجيناتِ (172) Polygenic
مرضُ هانتنغتون (175) Huntington's disease
المعالجةُ الجينيّةُ (177) Gene therapy

مراجعةٌ

مفرداتٌ

1. وضّحِ الفرقَ بين مفهوميَ كلٍّ من الأزواجِ التالية:
   أ. طفرةٍ خليّةٍ تناسليّةٍ وطفرةِ خليّةٍ جسميّةٍ.
   ب. صفةٍ متعدّدةِ الأليّلاتِ وصفةٍ متعدّدةِ الجينات.
   ج. سمةٍ مرتبطةٍ بالجنسِ وسمةٍ متأثّرةٍ بالجنسِ.
   د. بزلِ السائلِ الرهليِّ وفحصِ الخملاتِ الكوريونيّةِ.
2. وضّحِ العلاقةَ بينَ خريطةٍ كروموسوميّةٍ ووحدةِ خريطةٍ.
3. استخدمِ المفاهيمَ التاليةَ في جملةٍ واحدةٍ: طفرةً موضعيّةً، الاستبدالَ، طفرةَ الإزاحةِ.

اختيارٌ من متعدِّدٍ

4. أيٌّ من التالي يمكنُ أن تبيّنَهُ خريطةٌ كروموسوميّةٌ؟
   أ. جنسُ الفردِ.
   ب. وجودُ أليّلاتٍ ذاتِ طفرةٍ.
   ج. مواقعُ الجيناتِ على كروموسومٍ معيّنٍ.
   د. كونُ الجينِ سائدًا أو متنحيًّا.
5. أيٌّ من التالي قد ينتجُ عن فقدِ نيوكليوتيدٍ واحدٍ؟
   أ. ثلاثيّةٌ كروموسوميّةٌ.
   ب. الانتقال.
   ج. عدمُ الانفصال.
   د. طفرةُ الإزاحة.
6. أيٌّ من التالي، في الوقتِ الحاضرِ، لا يمكنُ لبزلِ السائلِ الرهليِّ أن يكشفَ عنهُ؟
   أ. لونُ العينينِ.
   ب. المرضُ الوراثيُّ.
   ج. جنسُ الجنينِ.
   د. الاختلالاتُ الكروموسوميّةُ.
7. يكتشفُ عالمُ وراثةٍ يعملُ على ذبابةِ الفاكهةِ طرازًا مظهريًّا ناتجًا عن طفرةٍ، ويظهرُ فقط عند ذكورٍ هي أبناءٌ لذكورٍ لها الطرازُ المظهريُّ نفسُهُ. أيٌّ من التالي تقترحُ هذه المعلومةُ حولَ هذا الطرازِ المظهريّ؟
   أ. السمةُ مرتبطةٌ بالكروموسومِ X.
   ب. السمةُ مرتبطةٌ بالكروموسومِ Y.
   ج. السمةُ جسميّةٌ وسائدةٌ.
   د. السمةُ جسميّةٌ ومتنحيّةٌ.

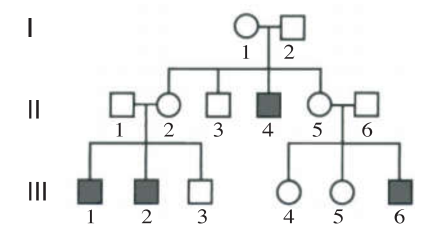
يبيّنُ هذا الجدولُ الطُّرُزَ الجينيّةَ والطرزَ المظهريّةَ لأنماطِ الصلعِ. استخدمِ الجدولَ للإجابةِ عن السؤالِ التالي:

الطرزُ الجينيّةُ والطرزُ المظهريّةُ لأنماطِ الصلعِ

الطرازُ الجينيّ	الطرازُ المظهريّ: أنثى	الطرازُ المظهريّ: ذكر
BB	صلعاء	أصلع
Bb	غيرُ صلعاء	أصلع
bb	غيرُ صلعاء	غيرُ أصلع

8. أيٌّ من التالي يوضحُ لماذا يعبِّرُ الرجالُ والنساءُ عن الطرازِ الجينيِّ Bb بشكلٍ مختلفٍ؟
   أ. السمةُ متعدِّدةُ الجينات.
   ب. السمةُ متعدِّدةُ الأليّلات.
   ج. نمطُ الصلعِ سمةٌ مرتبطةٌ بالجنسِ.
   د. نمطُ الصلعِ سمةٌ متأثّرةٌ بالجنسِ.
9. الانتقالُ : طفرةٌ كروموسوميّةٌ ؛ الاستبدالُ :
   أ. طفرةٌ جينيّةٌ.
   ب. طفرةٌ موضعيّةٌ.
   ج. طفرةُ خليّةٍ تناسليّةٍ.
   د. طفرةُ خليّةٍ جسميّةٍ.

يظهرُ سجلُّ النسبِ التالي وراثةَ مرضِ نزفِ الدمِ في عائلةٍ معيّنةٍ. استخدمْ سجلَّ نسبِ العائلةِ هذا للإجابةِ عن السؤالِ التالي:



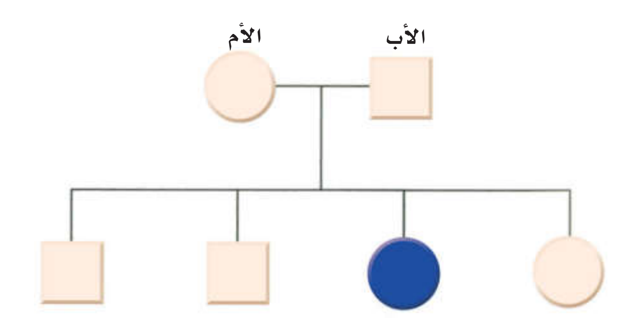
10. أيُّ نوعٍ من أنماطِ التوارثِ يترافقُ مع مرضِ نزفِ الدم؟
    أ. الجسميُّ والمتنحّي.
    ب. المرتبطُ بالجنسِ والسائدُ.
    ج. المرتبطُ بالجنسِ والمتنحّي.
    د. الجسميُّ والسائدُ.

إجابةٌ قصيرةٌ

11. قارنْ بينَ الكروموسوماتِ الجنسيّةِ والكروموسوماتِ الجسميّةِ.
12. ما الأدلةُ التي قادتْ موركان إلى وضعِ فرضيّةٍ تقولُ بأن جينَ لونِ العينين عند ذبابةِ الفاكهةِ، *Drosophila melanogaster*، محمولٌ على الكروموسوم X؟
13. أينَ يقعُ الجينُ *SRY* لدى الإنسانِ، وما دورُه؟
14. كيفَ تؤثِّرُ الجيناتُ المرتبطةُ بالكروموسوم X في توارثِ الجيناتِ المرتبطةِ بالجنسِ؟
15. ما الفرقُ بينَ الطفرةِ الكروموسوميّةِ والطفرةِ الموضعيّةِ؟
16. ما الفرقُ بينَ طفرةِ عدمِ الانفصالِ وطفرةِ الانتقالِ؟
17. ما نوعُ المعلوماتِ التي يمكنُ الحصولُ عليها عن طريقِ تحليلِ سجلِّ النسبِ لعائلةٍ معيَّنةٍ؟
18. صفْ نمطَ توارثِ مرضِ هانتنغتون.
19. ما الطرزُ الجينيّةُ المحتملةُ لشخصٍ فصيلةُ دمِهِ A؟
20. لخِّصْ طريقتينِ يمكنُ لعلماءِ الوراثةِ تشخيصُ الاختلالاتِ الوراثيّةِ من خلالِها؟
21. كيفَ تستخدمُ المعالجةُ الجينيّةُ لمعالجةِ الاختلالاتِ الوراثيّةِ؟
22. هناك فردانِ على وشكِ الزواجِ. المرأةُ مصابةٌ بمرضِ التليُّفِ الحوصليِّ، بخلافِ الرجلِ. ما الفائدةُ من مراجعتِهما مستشارًا في الأمورِ الوراثيَّةِ؟
23. استخدمِ المفاهيمَ التاليةَ لوضعِ خريطةِ مفاهيمَ تصنِّفُ فيها طرقَ حدوثِ التغيُّراتِ في DNA: الطفرةَ، طفرةً كروموسوميّةً، الاستبدال، الحذف، طفرةً موضعيّةً، الموت، الانقلاب، الانتقال، عدمَ الانفصال، طفرةَ خليةٍ تناسليّةٍ، طفرةً قاتلة، الأمشاج.

تفكيرٌ ناقدٌ

1. عند ذبابةِ الفاكهةِ، يقعُ جينا لونِ الجسمِ وطولِ الأجنحةِ على الكروموسومِ نفسِه. الجسمُ الرماديُّ (G) سائدٌ على الجسمِ الأسودِ (g). والأجنحةُ الطويلةُ (L) سائدةٌ على الأجنحةِ القصيرةِ (l). افترضْ أن الأليلينِ السائدينِ موجودانِ على الكروموسومِ نفسِه. ارسمْ مربَّعَ بونيت يمثِّلُ التزاوجَ $GgLl \times GgLl$. فما نسبةُ كلٍّ من الطرازِ الجينيِّ والطرازِ المظهريِّ المتوقَّعانِ ضمنَ الأبناءِ، إذا افترضتَ أن العبورَ لا يحدث؟
2. على الأفرادِ الهجينةِ لمرضِ فقرِ الدمِ المنجليِّ تجنُّبَ الظروفِ الحادّةِ التي تؤدّي إلى خفضِ كمّيّةِ الأوكسجينِ المتوفِّرةِ للجسمِ، كممارسةِ رياضةٍ عنيفةٍ عند ارتفاعاتٍ كبيرةٍ عن سطحِ البحرِ. وضِّحْ لماذا يستحسنُ تجنبُ ذلك؟
3. الفردُ المشارُ إليه باللونِ الأزرقِ في سجلِّ النسبِ التالي مصابٌ باختلالٍ وراثيٍّ. ما نمطُ توارثِ هذا الاختلالِ؟ أجسميٌّ هو، أم مرتبطٌ بالجنسِ؟ وضِّحْ إجابتَك.



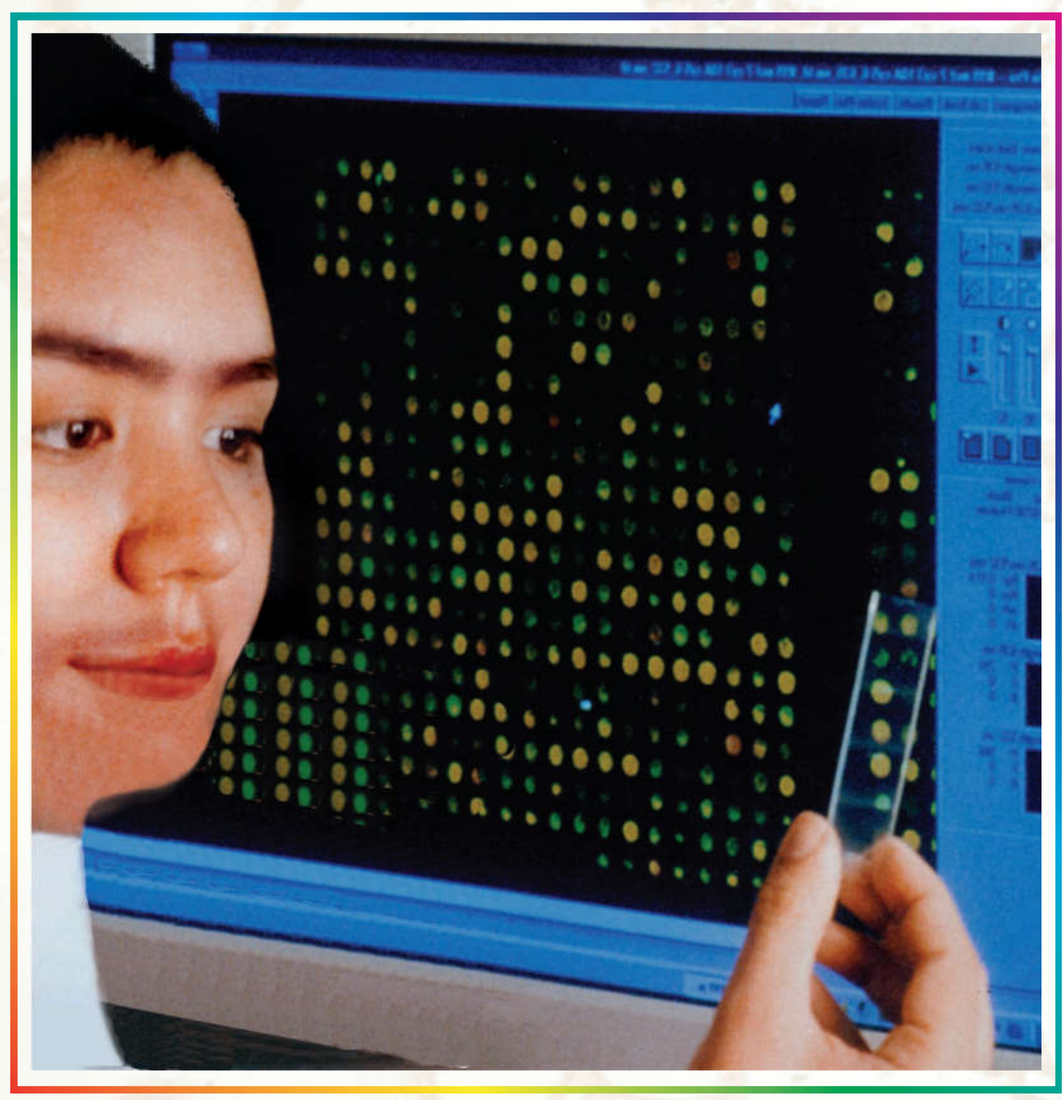
4. ما التوصيةُ التي قد يعطيها مستشارٌ وراثيٌّ للأشقّاءِ والشقيقاتِ غيرِ المصابينَ الظاهرينَ في سجلِّ نسبِ العائلةِ في السؤالِ السابقِ؟

توسيعُ آفاقِ التفكيرِ

1. سمةُ عمى الألوانِ سمةٌ متنحِّيةٌ ومرتبطةٌ بالجنسِ. ينجبُ رجلٌ وامرأةٌ سليما النظرِ ثلاثَ بناتٍ سليماتِ النظرِ. تتزوّجُ إحداهنَّ من رجلٍ سليمِ النظرِ وتنجبُ ولدًا مصابًا بعمى الألوانِ.
   أ. أيٌّ من أبوي الولدِ يحملُ السمةَ؟ وضِّحْ إجابتَك.
   ب. امرأةٌ تحمل عمى الألوانِ تزوّجتْ من رجلٍ مصابٍ بعمى الألوانِ. ما احتمالُ أن يكون أولادُهما مصابين بعمى الألوانِ؟ وضِّحْ إجابتَك.
2. اكتبْ تقريرًا عن أحدثِ الاكتشافاتِ حولَ المعالجةِ الجينيةِ، موضحًا المعوِّقاتِ التي يجبُ التغلُّبُ عليها.

الفصل 10

تقنيَّةُ الجيناتِ



باستخدامِ التقنيَّةِ التي تُسمَى النسقَ الدقيقَ Microarray، يستطيعُ الباحثون أن يروا أيُّ جيناتٍ يتمُّ نسخُها بصورةٍ نشطة في الخلية. كلٌّ نقطةٍ في النسقِ الدقيقِ، الذي يظهرُ على شاشةِ الحاسوبِ تمثِّلُ جينًا مختلفًا داخلَ الخليةِ الخاضعةِ للدراسة.

المفهومُ الرئيس التكاثرُ والتوارثُ

وأنت تقرأُ لاحظِ الطرقَ التي يستطيعُ العلماءُ من خلالِها أن يمنحوا كائناتٍ حيّةً سماتٍ لم ترثْها، عن طريقِ تغييرِ جيناتِ تلك الكائنات.

1-10 تقنيَّةُ DNA

2-10 مشروعُ الجينومِ البشريِّ

3-10 الهندسةُ الوراثيَّة

تقنيّة DNA

يتحكّمُ اليومَ العلماءُ بـ DNA لعدّةِ أهدافٍ تطبيقية، معتمدينَ تقنيّاتٍ تسمّى بمجملِها *تقنيّةَ DNA*. مثلاً، يمكنُ استخدامُ تقنيّةِ DNA كدليلٍ على مرتكبِ جريمةٍ بتعرُّفِ DNA موجودٍ في مسرحِ جريمة. كذلك، يستخدمُ العلماءُ هذه التقنيّةَ لتحسينِ المحاصيلِ الزراعيةِ، وتحديدِ ما إذا كانَ أحدُ الأشخاصِ يحملُ مادةً وراثيةً مسؤولةً عن بعضِ الأمراض، قبل ظهورِ الأعراض، وذلك للقيامِ بأبحاثٍ حول أساليبِ معالجةِ الأمراضِ الوراثيّةِ والشفاءِ منها. يناقشُ هذا الفصلُ أدواتِ تقنيةِ DNA، وكيفيّةَ اعتمادِ هذه الأدواتِ من قِبَلِ العلماءِ لدراسةِ جينوماتٍ كاملة، وكيفيّةَ استخدامِها لتحسينِ حياةِ الإنسان.

القســـم

1-10

النواتج التعليمية

▲ يوضحُ أهميةَ DNA غير المسؤولِ عن بناءِ بروتين في تعرُّفِ DNA.

● يصفُ الخطواتِ الأربعَ الرئيسةَ المستخدمةَ في تعرُّفِ DNA.

■ يوضحُ استخدامَ كلٍّ من الأنزيماتِ المقطِّعة، وموجِّهاتِ الاستنساخ، والمسابرِ، في بناءِ DNA معادِ التركيب.

▲ يلخّصُ تطبيقاتٍ عديدةً لتعرُّفِ DNA.

تعرُّفُ DNA

لا يمكنُ لأيِّ شخصَينِ في العالم، أن يكونا متطابقَينِ وراثيًّا، باستثناءِ توأمَينِ متماثلَيْن. إن معظمَ DNA متطابقٌ لدى جميعِ الناس، غير أن ما تقربُ نسبتُهُ من 0.10% من الجينومِ البشريِّ عند الإنسانِ يختلفُ من شخصٍ إلى آخر. بسببِ هذا الاختلافِ المحدودِ، يستطيعُ العلماءُ تعرُّفَ الأشخاصِ بالاستنادِ إلى DNA الخاصِّ بكلٍّ منهم. ولتعرُّفِ DNA تجري مقارنةُ عيّناتٍ من DNA في أجزاءٍ من كروموسوم تختلفُ من شخصٍ إلى آخر. إن تعرُّفَ DNA مفيدٌ لعدّةِ أهدافٍ، من ضمنِها تحديدُ أبوّةِ شخصٍ معيّنٍ، وتعرُّفُ أجزاءٍ متبقّيةٍ من الأشخاصِ، وتقديمُ أدلّةٍ في قضايا الجرائم.

DNA غيرُ المسؤولِ عن بناءِ بروتين

ما يثيرُ الدهشةَ هو أن ما يُقاربُ 98% من مادّتِنا الوراثيةِ، DNA، غيرُ مسؤولٍ عن بناءِ أيِّ بروتين. DNA هذا يحتوي على **أطوالٍ متعدِّدةٍ Length polymorphisms**، أي اختلافاتٍ في طولِ جزيءِ DNA الذي يقعُ بين جينَيْنِ معروفَين. بعضُ الأطوالِ المتعدِّدةِ، في الأجزاءِ غيرِ المسؤولةِ عن بناءِ بروتين، تنجمُ عن تتابعاتٍ متكرِّرةٍ وقصيرةٍ من نيوكليوتيدات DNA. مثلاً، يمكنُ لتتابعِ نيوكليوتيداتٍ متكررٍ أن يكونَ CACACA، وهكذا دواليك. يمكنُ لهذه التتابعاتِ أن تتكرَّرَ مرّاتٍ قليلةً أو كثيرة، بشكلٍ متعاقبٍ (الواحدُ تلو الآخر)، وتسمّى بالتالي **التكرارَ المترادفَ متغيِّرَ العدد Variable number of tandem repeats (VNTR)**. إن عددَ التتابعاتِ المتكرِّرةِ للنيوكليوتيداتِ في مواقعَ محدَّدةٍ من DNA يختلفُ بين الأفراد. ففي كلٍّ من المواقعِ العديدةِ لـ VNTR في DNA لشخصٍ معيّنٍ، يوجدُ عددٌ محدَّدٌ من تتابعاتِ النيوكليوتيدات.

خطواتُ تعرُّفِ DNA

إن الخطواتِ الرئيسةَ المتَّبعة في تعرُّفِ DNA هي: (1) عزلُ عيِّنةٍ من DNA ومضاعفتُها عند الضرورة، (2) تقطيعُ DNA إلى أجزاءٍ أقصرَ تحتوي على مناطق VNTR، (3) فرزُ أجزاءِ DNA هذه وفقًا لأطوالِها، (4) مقارنةُ أطوالِ أجزاءِ العيِّنةِ المجهولةِ من DNA بأطوالِ عيِّناتٍ معروفةٍ من DNA. فإذا تمَّ تطابقٌ بين العيِّنةِ المجهولةِ وعيِّنةٍ معروفة، يمكنُ عندها تأكيدُ هويّةِ الشخص.

مضاعفةُ DNA: التفاعلُ المتسلسلُ لأنزيمِ البلمرة

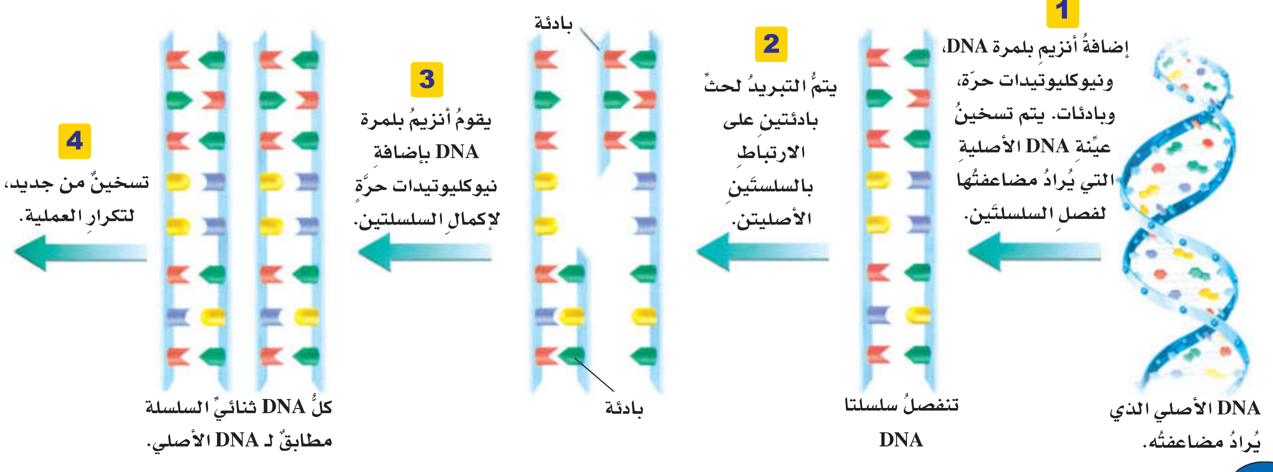
يتوفَّرُ DNA الذي يؤخذُ من مسرحِ جريمةٍ أو من نسيجٍ من جسمِ الإنسان، غالبًا، بمقاديرَ صغيرةٍ للغاية. في مثلِ هذه الحالات، يحتاجُ العلماءُ إلى مضاعفتِهِ كي يحصلوا على ما يكفي من DNA لاستخدامِهِ في تعرُّفِ ذلك الإنسان. إن **التفاعلَ المتسلسلَ لأنزيمِ البلمرة Polymerase chain reaction (PCR)** هو تقنيَّةٌ تُنتِجُ، وبسرعةٍ، نسخًا عديدةً لجزءٍ من DNA. وتتمُّ وفقَ الخطواتِ التاليةِ المبيَّنةِ في الشكل 10-1.

الخطوةُ **1** ، يتطلَّبُ PCR قالبًا، أي قطعةً من DNA تحتوي على تتابعِ النيوكليوتيداتِ التي يريدُ العالِمُ مضاعفتَها، ويتطلَّبُ PCR، كذلك، توفرَ نيوكليوتيداتِ DNA الأربعة، وأنزيمِ بلمرةِ DNA، وبادئات. **البادئات Primers** هي قِطعُ DNA الصناعيةُ أحاديَّةُ السلسلة، تتألّفُ من حواليَّ 20 إلى 30 نيوكليوتيدًا، يتوجَّبُ توفُّرُها كي يبدأ أنزيمُ بلمرةِ DNA عمليّةَ التضاعُف. تكونُ البادئاتُ متمِّمةً لطرفَيِ قطعةِ DNA التي يُرادُ مضاعفتُها.

يمكنُ لعمليّةِ المضاعفةِ أن تبدأ عند توفُّرِ المكوِّناتِ كلِّها معًا. تؤدّي الحرارةُ إلى تفكيكِ الروابطِ التي تربطُ بين سلسلتَيِ DNA. ترتبطُ البادئتانِ بـ DNA، ويقومُ أنزيمُ بلمرةِ DNA بمضاعفةِ سلسلتَيِ DNA. وكما في الخطوةِ **2** ، بعد التبريدِ يمكنُ للبادئتين أن ترتبطا بـ DNA. وفي الخطوةِ **3** ، يمكنُ لأنزيمِ بلمرةِ DNA أن يقومَ بمضاعفةِ DNA مرة أخرى. في الخطوةِ **4** ، يتمُّ إعادةُ تنفيذِ الدورة. مع كلِّ دورةٍ جديدةٍ، يتضاعفُ DNA الموجودُ بين البادئتينِ مرةً واحدة.

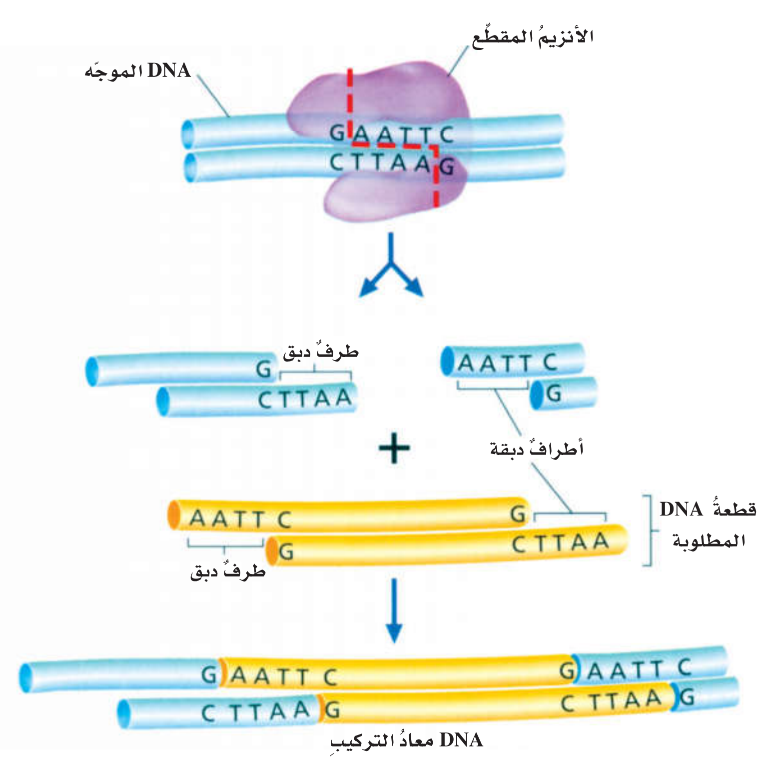
الشكل 10-1

في عملية التفاعل المتسلسل لأنزيم البلمرة (PCR)، يختارُ العالِمُ قطعةً من DNA لمضاعفتها ويصمِّمُ البادئتين اللتين سترتبطان بطرفَيِ القطعةِ نفسها. يقومُ أنزيمُ بلمرة DNA بمضاعفة القطعةِ الموجودة بين البادئتين. يؤدي تكرارُ العملية، 30 دورةً تقريبًا، إلى إنتاج ملايين قِطَعِ DNA من قطعة DNA واحدة.



تقطيعُ DNA: الأنزيماتُ المقطِّعة

يستخدمُ علماءُ الأحياءِ بروتيناتٍ بكتيريةً تسمّى **الأنزيماتِ المقطِّعةَ Restriction enzymes** لتقطيع الجزيئاتِ الطويلةِ لـ DNA إلى أجزاءٍ صغيرة. تتعرَّفُ الأنزيماتُ المقطِّعةُ تتابعاتٍ قصيرةً ومعيَّنةً من القواعدِ النيتروجينية في جزيءِ DNA، فتقطِّعُ DNA ضمنَ التتابعِ أو بجوارِه، الشكلُ 10-2. تتركُ بعضُ الأنزيماتِ المقطِّعةِ في موقعِ القطعِ نتوءاتٍ من جزءِ DNA تعملُ كـ «*أطرافٍ دبقة*» *Sticky ends*، بحيثُ تتمكّنُ أجزاءٌ أخرى من DNA متمّمةٌ لها من الارتباطِ بها.

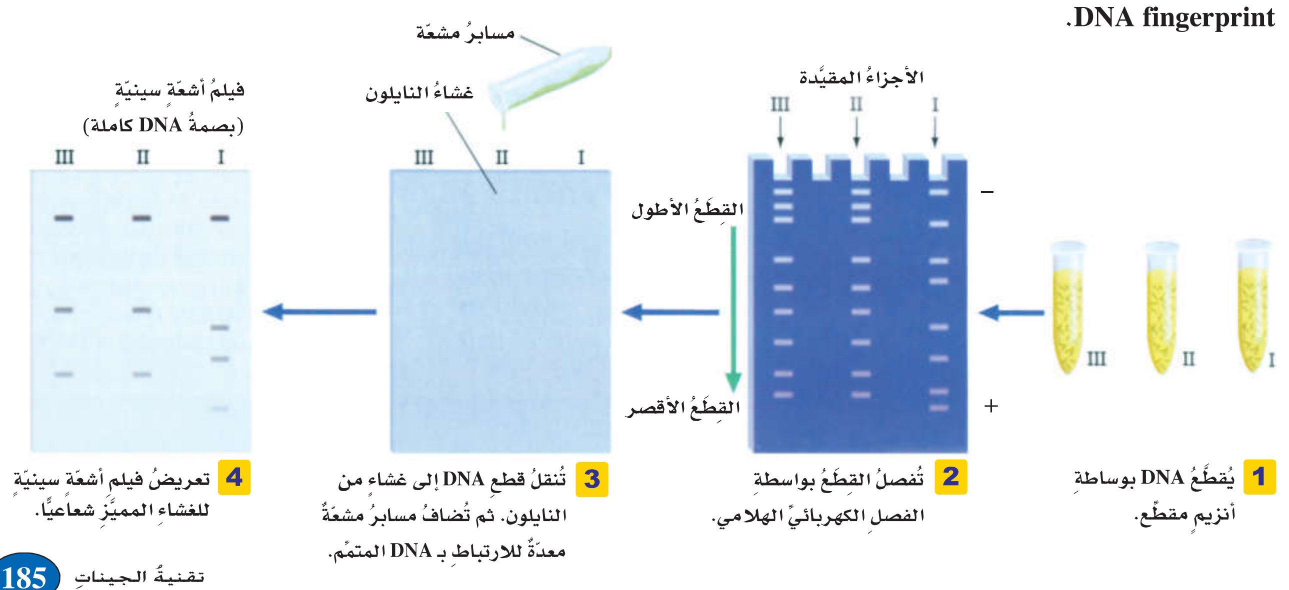


الشكل 10-2
يتعرّفُ الأنزيمُ المقطِّعُ، في هذا الشكل، التتابعَ GAATTC الموجودَ عند كل DNA، ويقطِّعُ كلَّ تتابعٍ بين النيوكليوتيد G والنيوكليوتيد A. ينتجُ عن ذلك قطعٌ من DNA ذاتُ أطرافٍ دبقة.

فرزُ DNA وفقًا للأحجامِ: الفصلُ الكهربائيُّ الهلاميّ

يمكنُ دراسةُ قطعِ DNA باستخدامِ تقنيّةٍ تسمّى **الفصلَ الكهربائيَّ الهلاميّ Gel electrophoresis**. يقومُ الفصلُ الكهربائيُّ الهلاميُّ بفصلِ الأحماضِ النوويّةِ أو البروتيناتِ وفقًا لأطوالِها ولشحناتِها الكهربائية، الشكل 10-3. في الخطوةِ **1**، تقطَّعُ عيّناتُ DNA بواسطةِ أنزيمٍ مقطِّع. يوضعُ DNA المقطَّع (*الأجزاءُ المقيَّدة Restriction fragments*) في حفرٍ أُعدّتْ في هلامٍ سميك. في الخطوةِ **2** يسري تيارٌ كهربائيٌّ عبرَ الهلامِ لفترةٍ زمنيّةٍ معيّنة. وتنتقلُ قطعُ DNA ذاتُ الشحنةِ السالبةِ نحو طرفِ الهلامِ ذي الشحنةِ الموجبة. تنتقلُ قطعُ DNA القصيرة، بسرعةٍ أكبرَ وإلى مسافةٍ أبعد من القطعِ الطويلة، ولذلك تُفرَزُ القطعُ بحسبِ أطوالِها. الخطوةُ **3** تُنقلُ قطعُ DNA إلى غشاءٍ من النايلون، وتضافُ إليه مسابرُ مشعّة. ترتبطُ المسابرُ بـ DNA المتمّم. الخطوةُ **4**، يُعرَّضُ فيلمُ الأشعةِ السينيةِ للغشاءِ المميَّزِ بالمسابرِ المشعّةِ فتظهرُ عليه قطعُ DNA على صورةِ خطوطٍ سوداءَ مرتّبةٍ وفقًا لأطوالِها. يسمّى نمطُ الخطوطِ الناتج **بصمةَ DNA fingerprint**.

الشكل 10-3
خطواتُ الفصلِ الكهربائيِّ الهلاميّ.



معادُ التركيب DNA

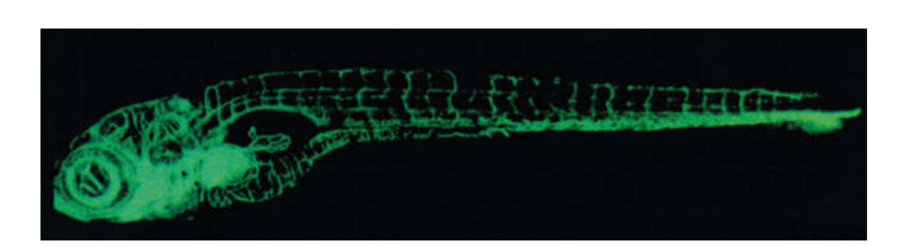
تُستخدَمُ تقنيّاتُ DNA في تحويرِ الجينوم لخليّةٍ حيةٍ أو لكائنٍ حي. عمليةُ تحويرِ المادةالوراثيّةِ لخلايا أو لكائناتٍ حية، لجعلِها تُنتِجُ موادَّ جديدةً، تسمّى **الهندسةَ الوراثيَّة Genetic engineering**. يَنتِجُ DNA **معادُ التركيب، Recombinant DNA**، عن دمجِ DNA من كائنينِ حيينِ مختلفَين.

يُظهرُ الشكل 4-10 كائنًا حيًّا ذا DNA معادِ التركيب. لدراسةِ نموِّ الأوعيةِ الدموية، دمجَ الباحثونَ جينًا من قنديلِ البحر، مسؤولاً عن بناءِ *البروتين الفلورسنت الأخضر Green fluorescent protein* (GFP) الذي يضيءُ تحتَ تأثيرِ الأشعةِ فوقِ البنفسجية، مع جينٍ من سمكةِ الزردِ Zebrafish الخاصِّ بنموِّ الأوعيةِ الدموية. أدخلوا الجين GFP إلى الأوعيةِ الدمويةِ لأجنّةِ أسماكِ الزرد. ضاعفتْ خلايا الأوعيةِ الدمويةِ للأسماكِ DNA معادَ التركيبِ، وأنتجتْ بروتيناتٍ فلورسنت خضراء. ومع نموِّ أسماكِ الزردِ أصبحتْ أوعيتُها الدمويةُ تضيءُ باللونِ الأخضر، وسهّلت على الباحثين دراسةَ نموِّ تلك الأوعية.

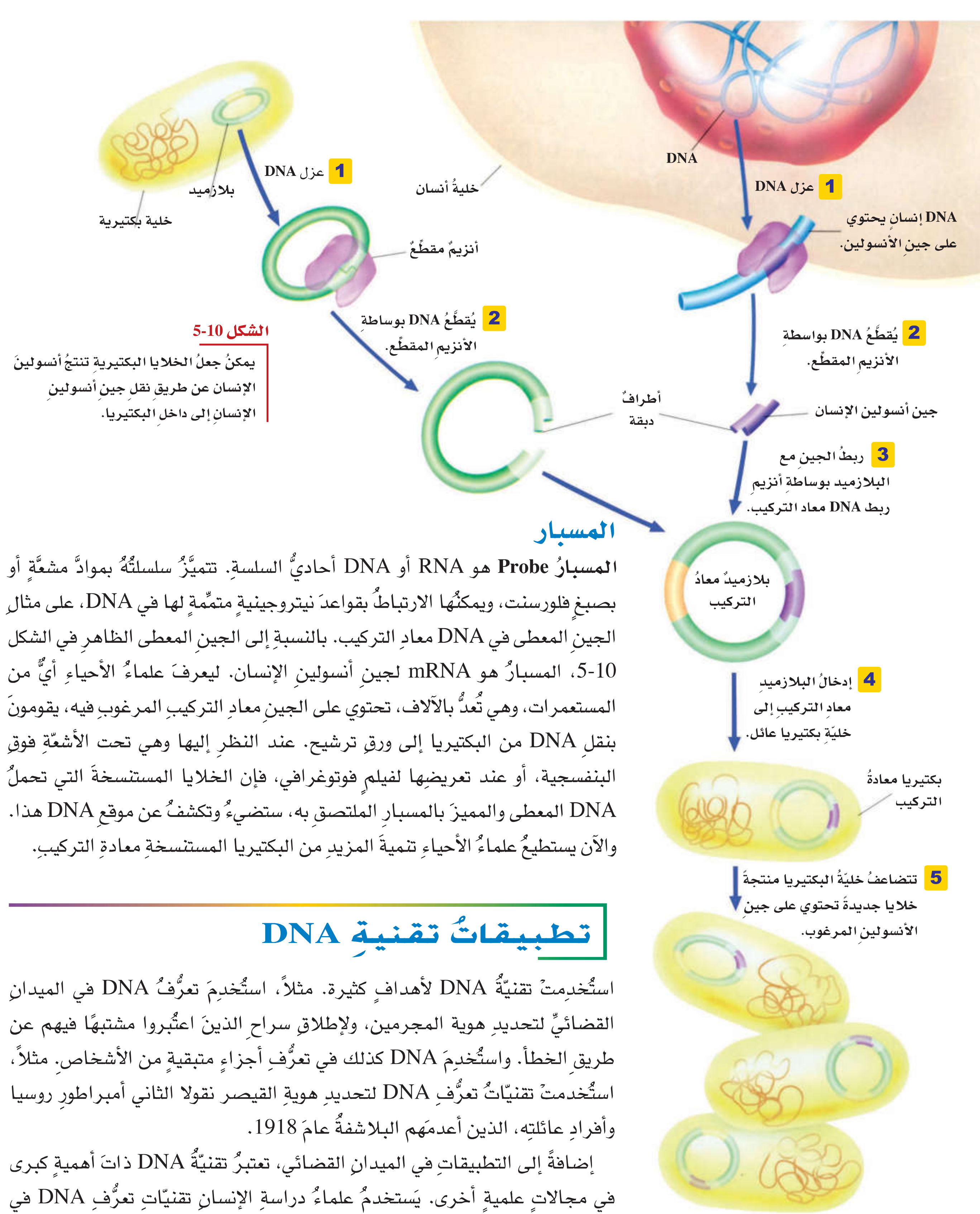
موجِّهُ الاستنساخ

المستنسخُ Clone هو نتاجٌ مماثلٌ لقطعةِ DNA، أو لخليةٍ كاملة، أو لكائنٍ حيٍّ بكاملِه. يمكنُ للباحثين أن يستنسخوا قطعًا من DNA، عن طريقِ إدخالِها ضمن **موجِّه Vector**، وهو جزيءُ DNA يمكنُه أن يتضاعفَ داخلَ خليّةٍ، تكونُ، عادةً، خليةً بكتيريةً أو خليةً فطرية، ويمكنُه أن يحملَ DNA غريبًا. عندما يدخلُ الموجِّه، الذي يحملُ DNA الغريب، إلى البكتيريا وتتكاثرُ هذه البكتيريا، تنمو مستعمرةٌ من الخلايا المستنسخةِ تحتوي على DNA الغريب. تشتملُ موجِّهاتُ الاستنساخِ على الفيروساتِ التي تصيبُ البكتيريا وعلى البلازميدات.

البلازميداتُ Plasmids هي DNA حلقيٌّ صغيرٌ يوجدُ طبيعيًّا في بعضِ خلايا البكتيريا، إلى جانبِ كروموسومِها الرئيس. يوضحُ الشكلُ 5-10 كيفيّةَ استخدامِ البلازميد في استنساخِ جينٍ مرغوبٍ فيه هو الجينُ المسؤولُ في هذه الحالةِ عن تكوينِ الأنسولينِ عند الإنسان.



الشكل 4-10
رغبَ الباحثون في أن يعرفوا أيَّ جزيئاتٍ تسبّبُ نموَّ الأوعيةِ الدموية. للإجابةِ عن هذا السؤال اعتمدوا الهندسةَ الوراثيَّة لجعل البروتينات التي تتحكّمُ في نموِّ الأوعيةِ الدمويةِ لدى سمكِ الزردِ تُضيءُ باللونِ الأخضر.



الشكل 5-10
يمكنُ جعلُ الخلايا البكتيرية تنتجُ أنسولينَ الإنسان عن طريقِ نقلِ جينِ أنسولينِ الإنسانِ إلى داخل البكتيريا.

المسبار

المسبارُ Probe هو RNA أو DNA أحاديُّ السلسةِ. تتميَّزُ سلسلتُهُ بموادَّ مشعَّةٍ أو بصبغٍ فلورسنت، ويمكنُها الارتباطُ بقواعدَ نيتروجينيةٍ متمِّمةٍ لها في DNA، على مثالِ الجينِ المعطى في DNA معادِ التركيب. بالنسبةِ إلى الجينِ المعطى الظاهرِ في الشكل 5-10، المسبارُ هو mRNA لجينِ أنسولينِ الإنسان. ليعرفَ علماءُ الأحياءِ أيٌّ من المستعمرات، وهي تُعدُّ بالآلاف، تحتوي على الجينِ معادِ التركيبِ المرغوبِ فيه، يقومونَ بنقلِ DNA من البكتيريا إلى ورقٍ ترشيحٍ. عند النظرِ إليها وهي تحت الأشعّةِ فوقَ البنفسجية، أو عند تعريضِها لفيلمٍ فوتوغرافي، فإن الخلايا المستنسخةَ التي تحملُ DNA المعطى والمميزَ بالمسبارِ الملتصقِ به، ستضيءُ وتكشفُ عن موقعِ DNA هذا. والآن يستطيعُ علماءُ الأحياءِ تنميةَ المزيدِ من البكتيريا المستنسخةِ معادةِ التركيب.

تطبيقاتُ تقنيةِ DNA

استُخدمتْ تقنيّةُ DNA لأهدافٍ كثيرة. مثلاً، استُخدِمَ تعرُّفُ DNA في الميدانِ القضائيِّ لتحديدِ هوية المجرمين، ولإطلاقِ سراحِ الذينَ اعتُبروا مشتبهًا فيهم عن طريقِ الخطأ. واستُخدِمَ DNA كذلك في تعرُّفِ أجزاءٍ متبقيةٍ من الأشخاص. مثلاً، استُخدمتْ تقنيّاتُ تعرُّفِ DNA لتحديدِ هويةِ القيصر نقولا الثاني أمبراطورِ روسيا وأفرادِ عائلتِه، الذين أعدمَهم البلاشفةُ عامَ 1918.

إضافةً إلى التطبيقاتِ في الميدانِ القضائي، تعتبرُ تقنيّةُ DNA ذاتَ أهميةٍ كبرى في مجالاتٍ علميةٍ أخرى. يَستخدمُ علماءُ دراسةِ الإنسانِ تقنيّاتِ تعرُّفِ DNA في مجالِ تعقُّبِ الأهلِ وحركاتِ هجرةِ الإنسان. يعتمدُ أخصائيُّو الحفاظِ على البيئةِ التقنيّاتِ نفسَها لتعقُّبِ حركاتِ هجرةِ وانتقالِ الكائناتِ الحيّةِ المهدّدةِ أو المعرّضةِ للانقراض، في محاولةٍ منهم لحمايةِ أنواعِها.

توفِّرُ تقنيّاتُ DNA معادِ التركيبِ للكائناتِ الحيّةِ الدقيقةِ إمكانياتٍ جديدة، وذاتَ تطبيقاتٍ مفيدة. إن أوّلَ DNA معادِ التركيبِ استُخدمَ على نطاقٍ تجاريٍّ هو أنسولينُ الإنسانِ (لمعالجةِ مرضِ البولِ السكّري) عامِ 1982. صُنعَ جزيءُ DNA معادِ التركيبِ عن طريقِ إدخالِ جينِ الإنسانِ المسؤولِ عن تكوينِ الأنسولينِ إلى بلازميدِ بكتيريا. واليوم تتمُّ تنميةُ هذه البكتيريا في أحواضٍ، وتُستخرجُ منها كمّياتٌ كبيرةٌ من أنسولينِ الإنسانِ لتُستخدمَ في معالجةِ مرضى البولِ السكّري.

ومنذ عامِ 1982 إلى الآن، تمّتِ المصادقةُ على ما يزيدُ على 30 من المنتجاتِ المصنوعةِ عن طريقِ استخدامِ تقنيّةِ DNA، واليومَ يجري استعمالُها في مختلفِ أنحاءِ العالم. إن هذه البروتيناتِ مفضّلةٌ على الأدويةِ التقليديّة، لأنها ذاتُ مستوى عالٍ من النوعيةِ وذاتُ تأثيراتٍ جانبيةٍ أقلّ. تشتملُ البروتيناتُ ذاتُ الأهميةِ الطبِّيّةِ على عواملِ معالجةِ نقصِ المناعةِ وفقرِ الدم. تمثِّلُ عواملُ تجلُّطِ الدمِ لمرضى نزفِ الدم، وهرمونُ نموِّ الإنسانِ للأفرادِ الذين يشكون من اضطراباتِ النموِّ، والأنترفيرون للمعالجةِ الفيروسيةِ والسرطان، والبروتيناتُ التي تشكِّلُ عواملَ نموٍّ لمعالجةِ الحروقِ والقرحة، عددًا صغيرًا جدًّا من الأدويةِ التي تُنتجُها الهندسةُ الوراثيَّةُ المستخدمةُ حاليًّا.



نشاطٌ عمليٌّ سريع

مقارنةُ صفاتٍ فريدة

الموادّ مِختمةٌ حبريّة، ورق، قلمُ رصاص، مقص.

الإجراء

1. قصَّ من ورقةٍ بيضاءَ أربعَ قطعٍ مربعةٍ بضلعٍ 7.5 cm.
2. ارسمْ على ورقةٍ بيضاءَ أخرى أربعةَ مربّعاتٍ متساوية.
3. مستخدِمًا محبرةَ أختام، يبصمُ كلُّ متعلِّمٍ في فريقِ العملِ بإبهامِهِ اليُمنى، على مربَّعٍ من مربَّعاتِ الورقةِ المسطَّرة، وعلى إحدى القطعِ المربَّعة.
4. تفحّصْ كلَّ بصمةِ إبهام، وضعْ لائحةً بأوجهِ الشبهِ والاختلافِ بين البصمات. وضِّحْ ما تختلفُ به كلُّ بصمةِ إبهامٍ عن الأخرى. ثم اخلطْ بصماتِ أصابعِ الإبهامِ الموجودةَ على القطعِ المربّعة، وحاولْ مطابقةَ كلٍّ منها مع تلك الموجودةِ على مربَّعاتِ الورقةِ المسطَّرة.

التحليل ما الصفاتُ المشتركةُ بين جميعِ بصماتِ أصابعِ الإبهام؟ ما الصفاتُ التي تجعلُ كلَّ بصمةٍ فريدةً؟ بماذا تشتركُ بصمةُ إبهامِ الشخصِ وبصمةُ DNA الخاصةُ به؟

مراجعةُ القسم 1-10

1. لخِّصْ أهميةَ DNA غيرِ المسؤولِ عن بناءِ بروتينٍ في تعرُّفِ DNA.
2. صفْ خطواتِ التفاعلِ المتسلسلِ لأنزيمِ البلمرة (PCR).
3. ما الدورُ الذي تؤدِّيهِ الأنزيماتُ المقطِّعةُ في تقنيّةِ DNA؟
4. ما الأطرافُ الدبقةُ، وبأيِّ طريقةٍ تعملُ في صنعِ DNA معادِ التركيب؟
5. وضِّحْ دورَ موجِّهِ الاستنساخِ في صنعِ DNA معادِ التركيب.
6. اذكرْ ثلاثَ طرقٍ يمكنُ من خلالِها استخدامُ تقنيّةِ DNA لتحسينِ حياةِ الإنسان.

تفكيرٌ ناقد

7. لماذا تَستخدمُ عمليةُ إنتاجِ بصمةِ DNA قطعًا صغيرةً ومحدّدةً من DNA بدلاً من الجينومِ بكامِلِه؟
8. يعتقدُ متعلِّمٌ يقومُ بتنفيذِ الفصلِ الكهربائيِّ على عيِّنةٍ من DNA، أن أصغرَ قطعةِ DNA هي الأقربُ إلى القطبِ السالبِ للهلام. هل تتفقُ معه في استنتاجِه؟ وضِّحْ جوابَك.

مشروعُ الجينومِ البشريِّ

إنَّ إحدى التَّطبيقاتِ المدهشةِ لتقنيّةِ DNA هي تحديدُ تتابعِ نيوكليوتيداتِ الجينومِ البشريِّ الكاملِ. يناقشُ هذا القسمُ كيف استخدمَ الباحثونَ الوسائلَ الحديثَة في علمِ الوراثةِ لتحديدِ تتابعِ نيوكليوتيداتِ الجينومِ البشريِّ، كما يناقشُ أهميةَ ما اكتشفوه بالنسبةِ إلى علمِ الأحياءِ وإلى المجتمعِ خلالَ القرنِ الواحدِ والعشرين.

القســـم

2-10

النواتج التعليمية

▲ يناقشُ هدفَينِ رئيسَينِ لمشروعِ الجينومِ البشريِّ.

● يلخِّصُ الاكتشافاتِ المهمّةَ لمشروعِ الجينومِ البشريِّ.

■ يوضِّحُ فائدةَ أنواعِ النماذجِ الحيوانيةِ في دراسةِ الجيناتِ.

◆ يحدِّدُ كيفيّةَ استخدامِ المعلوماتِ التي تمَّ الحصولُ عليها من مشروعِ الجينومِ البشريِّ في مشاريعَ مستقبلية.

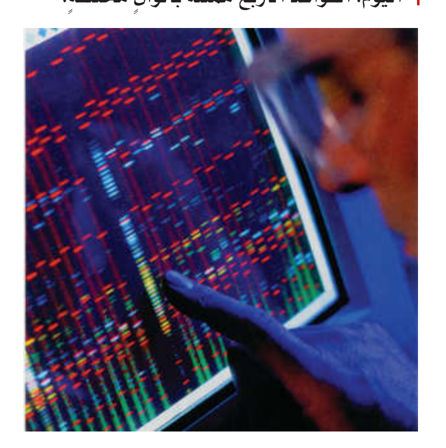
▲ يوضِّحُ كيف تُسهمُ المعلوماتيةُ الأحيائيةُ ودراسةُ المحتوى البروتيني والنسقُ الدقيقُ في مشروعِ الجينومِ البشريِّ.

وضعُ خريطةٍ للجينومِ البشريِّ

عامَ 1990 وضعَ علماءُ الوراثةِ في أنحاءٍ من العالمِ أيديَهمْ على أكثرِ المشاريعِ طموحًا في تاريخِ العلوم، ذلك هو مشروعُ الجينومِ البشريِّ. إن **مشروعَ الجينومِ البشريِّ Human genome project** جهدٌ بحثيٌّ كبيرٌ يهدِفُ إلى تحديدِ تتابعِ نيوكليوتيداتِ كلِّ DNA الإنسان، وتحديدِ مواقعِ كلِّ التتابعاتِ المهمّةِ فيه من حيثُ الوظائف، وعلى سبيلِ المثالِ الجينات. ومعنى ذلك أن المشروعَ يهدفُ إلى تحديدِ تتابعِ جميعِ النيوكليوتيدات، وعددُها في الجينومِ البشريِّ 3.3 مليارات، كما يهدفُ إلى وضعِ خريطةٍ لموقعِ كلِّ جينٍ على كلِّ كروموسوم. إن المعلوماتِ التي يوفِّرُها المشروعُ ستُستخدمُ في فهمِ تنظيمِ الجينومِ البشريِّ والتعبيرِ الجينيِّ والنموِّ الخلويِّ عند الإنسان.

ربطَ مشروعُ الجينومِ البشريِّ بين أكثرَ من عشرين من المختبراتِ العلميةِ في ستِّ بلدان. وفي حلولِ عامِ 2001، ظهرتْ صياغةُ تتابعِ النيوكليوتيداتِ للجينومِ البشريِّ في مقالتَينِ بارزتَينِ نُشرتا في المجلّتَينِ العلميَّتينِ *Nature* و *Science*. وقد أُتِمَّ التتابعُ العالي الجودةِ في العام 2003، وذلك قبل عامَينِ مما كان يُنتظر. يُظهرُ الشكل 6-10 مثالاً على كيفيّةِ عرضِ تتابعِ النيوكليوتيداتِ في قطعةٍ من DNA على شاشةِ حاسوب.

الشكل 6-10
طوَّرَ العلماءُ الذينَ يعملونَ على مشروعِ الجينومِ البشريِّ أجهزةً آليّةً لتحديدِ تتابعات نيوكليوتيدات DNA، يمكنُها تحديدُ ترتيبِ الملايين من أزواجِ القواعدِ النيتروجينية في اليوم. القواعدُ الأربعُ ممثلّةٌ بألوانٍ مختلفة.



اكتشافاتٌ مهمَّة

فوجئَ العلماءُ الذينَ عملوا في مشروعِ الجينومِ البشريِّ ببعضِ الاكتشافاتِ التي حقَّقوها، ومن ضمنِها التالي:

1. أن حواليَّ 2% فقط من الجينومِ البشريِّ مسؤولٌ عن بناءِ بروتينات.

2. أن لدى الكروموسوماتِ توزيعًا غيرَ متساوٍ من الأكسونات Exons ـ أي تتابعاتِ النيوكليوتيدات التي يتمُّ نسخُها وترجمتُها.

3. أن الجينومَ البشريَّ أقلُّ مما قدِّرَ سابقًا. فقد تبيَّنَ أنهُ يراوحُ فقط بين 20,000 و 25,000 من الجيناتِ المسؤولةِ عن بناءِ بروتينات، وهو أقلُّ بكثيرٍ من 100,000،

العددِ الذي كانَ مقدَّرًا أصلاً. والعلماءُ يدركونَ اليومَ أن جزيئاتِ RNA لا تُستخدَمُ فقط في ترجمةِ DNA إلى بروتينات. بل وُجِدَ أن الكثيرَ من جزيئاتِ RNA يعنى بتنظيمِ عمليةِ تعبيرِ الجينات.

4. إن أكسوناتِ جيناتِ الإنسانِ يتمُّ دمجُها بعدّةِ طرق، بحيثُ يكونُ الجينُ نفسُهُ مسؤولاً عن أشكالٍ مختلفةٍ من بروتينٍ معيّن. وتسمّى المجموعةُ الكاملةُ لبروتيناتِ كائنٍ حيٍّ **المحتوى البروتيني (البروتيوم) Proteome**. إن المحتوى البروتينيَّ للإنسانِ شديدُ التعقيد.

5. إن ما يُقاربُ نصفَ الجينومِ البشريِّ ناتجٌ عن خلطِ الجيناتِ القافزةِ، وهي قطعٌ من DNA تنتقلُ من موقعٍ في الكروموسوم إلى موقعٍ آخر. ويبدو أن لا دورَ محدَّدًا للجيناتِ القافزةِ في النموِّ والتطوُّرِ أو في الوظائفِ الأحيائية.

6. أنه يوجدُ ما يقاربُ 8 ملايين من **المواقعِ المختلفةِ بنيوكليوتيدٍ واحد Single nucleotide polymorphisms (SNP)**، وهي بمثابةِ مواقعَ فريدةٍ يختلفُ فيها الأشخاصُ من شخصٍ إلى آخرَ في نيوكليوتيدٍ واحدٍ. إن (SNP) مهمٌّ في وضعِ خريطةِ الجينومِ البشريِّ بتفصيلٍ أكبر، وفي تعرُّفِ جيناتِ أمراضِ الإنسان.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

المحتوى البروتيني

Proteome

كلمةٌ جديدةٌ مكوَّنةٌ من prote المشتقَّةُ من protein ومن ome المشتقَّةُ من genome أي «الجينوم»

الجدولُ 10-1 أحجامُ الجينوم لبعضِ الأنواعِ الحيّةِ

المجال / المملكة	الاسمُ الشائعُ للكائنِ الحيِّ	حجمُ الجينوم (بملايينِ القواعدِ النيتروجينية)	عددُ الجينات
الكائناتُ الحيةُ القديمة			
البكتيريا القديمة	*بايروكوكس*	1.9	2,065
البكتيريا			
البكتيريا الحقيقية	كلاميديا	1.0	894
	E. coli	4.6	4,289
الكائناتُ حقيقيّةُ النواة			
الطلائعيات	أميبا	34	~9,000
الفطريات	فطرُ الخميرة	12	6,000
النبات	خردل	125	23,174
	زنبق	100,000	~25,000
الحيوان	ذبابةُ الفاكهة	120	13,600
	دودةٌ أسطوانية	97	19,049
	ضفدع	1,700	~30,000
	الإنسان	3,300	~20,000
	فأر	3,630	~30,000
	سمكةُ الزرد	1,700	~3,000

E. coli

أميبا

الزنبق

فطر الخميرة

فأر

الجينومُ لبعضِ الكائناتِ الحيةِ

لفهمِ كيفيّةِ تحكُّمِ جيناتِ الإنسانِ في النموِّ والتطورِ والصحَّةِ بشكلٍ أفضل، ولإيضاحِ كيفيّةِ تأثيرِ الجيناتِ على السلوك، يرغبُ علماءُ الأحياءِ في تحديدِ موقعِ جيناتٍ متشابهةٍ في نماذجَ لأنواعِ الكائناتِ الحيَّةِ. منذ صياغةِ مشروعِ الجينومِ البشريِّ إلى الآن والمشاريعُ التي يجري تنفيذُها آخذةٌ في الازدياد. وتشتملُ بعضُ نماذجَ لأنواعِ الكائناتِ الحيَّةِ المستخدمةِ لتحديدِ تتابعِ نيوكليوتيداتِ الجينوم، على البكتيريا والدودةِ الأسطوانيةِ وذبابةِ الفاكهةِ وسمكةِ الزردِ والفأر.

تطبيقات

يتواصلُ تطبيقُ المعلوماتِ التي تمَّ الحصولُ عليها من مشروعِ الجينومِ البشريِّ لأهدافٍ مختلفةٍ طبِّيةٍ، وصناعيّةٍ وتجاريّةٍ وعلميّة. مثلاً، سبقَ للعلماءُ أن اكتشفوا جيناتٍ معيَّنةً مسؤولةً عن اختلالاتٍ وراثيّةٍ عدة، من ضمنِها مرضُ التليُّفِ الحوصليّ، ومرضُ الوهنِ العضليِّ، وسرطانُ الأمعاءِ الغليظةِ. يمكنُ للباحثينَ تطويرُ طرقِ التشخيصِ والمعالجةِ لما يزيدُ عن 4,000 خللٍ وراثيّ.

مستقبَلُ علمِ الجينومِ البشريّ

بالرغمِ من أن تتابعَ ما يزيدُ عن ثلاثةِ ملياراتٍ من النيوكليوتيداتِ للإنسانِ قد حُدِّد، فمن الواضحِ أن هذا ليس أكثرَ من بدايةِ محاولةٍ لفهمِ الجينومِ البشريِّ. وقد ظهرتْ وسائلُ وحقولُ أبحاثٍ علميّةٍ جديدةٍ تمكِّنُ من الحصولِ على المعلوماتِ التي يحتوي عليها DNA، ومن الحصولِ على تتابعِ الأحماضِ الأمينيّةِ للبروتيناتِ، كما تمكِّنُ من تحليلِها وتخزينِها وصنعِ نماذجَ عنها، وتوزيعِها. والآنَ، أصبحَ علماءُ الوراثةِ قادرينَ على اعتمادِ وسائلِهم الجديدةِ لخدمةِ الإنسانِ.



الشكل 10-7

يستخدمُ الفصلُ الكهربائيُّ الهلاميُّ الثنائيُّ البعدِ في فصل البروتينات من خلال خطوتَين. البعدُ الأولُ يفصِّلُ البروتينات وفقًا لنقطة التعادل الكهربائيّ. البعدُ الثاني يفصِّلُ البروتيناتِ وفقًا لأوزانِها الجزيئية.

المعلوماتيّةُ الأحيائيّة

يتطلّبُ التعقّبُ المتواصلُ لمليارات أزواجِ القواعدِ النيتروجينيّةِ في جينومٍ معقّدٍ توفُّرَ قدراتٍ مهمّةٍ في الحاسوب. إن الكثيرَ من التقدُّمِ الذي تحقّقَ، في مجالِ دراسةِ الجينوم، قد نتجَ عن تقدُّمِ العلومِ الحديثةِ،كعلمِ المعلوماتيةِ وحقلِ المعلوماتيّةِ الأحيائيّة. تَجْمَعُ **المعلوماتيَّةُ الأحيائيَّةُ Bioinformatics** بين علمِ الأحياءِ وعلمِ الحاسوبِ وتقنيّةِ المعلومات للتمكينِ من اكتشافاتٍ أحيائيةٍ جديدةٍ والتوصُّلِ إلى المبادئِ الموحّدة. وتَستخدمُ المعلوماتيَّةُ الأحيائيَّةُ قواعدَ بياناتٍ Databases لتخزينِ ودمجِ البياناتِ التي تَنتجُ عن الأبحاثِ في علمِ الجينوم. تسمّى إحدى قواعدِ البياناتِ هذه بلاست BLAST، وهي أداةُ بحثٍ تسمحُ بإجراءِ مقارناتٍ سريعةٍ بين تتابعِ قواعدَ نتيروجينيةٍ لجينٍ أو تتابعِ أحماضٍ أمينيةٍ لبروتينٍ في كائنٍ حي، وتتابعاتٍ مشابهةٍ في كلِّ الكائناتِ الحيّةِ الأخرى مخزَّنةٍ في قاعدةِ بياناتٍ في المركزِ الوطنيِّ لمعلوماتِ التقنيةِ الحيويةِ. والأداةُ بلاستْ تمكِّنُ من يعملُ بواسطتِها من العثورِ على جيناتٍ مماثلةٍ لدى كائناتٍ حيّةٍ مختلفة. بعد ذلك، يمكنُ للباحثِ أن يستنتجَ وظيفةَ جينٍ إنسانٍ لم يسبقْ أن جرت دراستُهُ من قبلُ من خلالِ معرفةِ وظيفةِ جينٍ يعودُ لنوعِ كائنٍ حيٍّ قريبٍ من الإنسانِ، كالفأرِ مثلاً.

علمُ المحتوى البروتينيّ

مهما تكن أهميّةُ الجينوم، فالبروتيناتُ الناتجةُ عنه هي التي تقومُ بتنفيذِ أعمالِ الخلايا. لفهمِ كيفيةِ عملِ الجيناتِ يجبُ على علماءِ الأحياءِ أن يفهموا البروتينات. تسمّى دراساتُ كلِّ البروتيناتِ لكائنٍ حيٍّ **علمَ المحتوى البروتينيِّ Proteomics**. ويتضمَّنُ علمُ المحتوى البروتينيِّ أنواعَ البروتيناتِ وتراكيبَها وتفاعلاتِها ووفرتَها. الوسيلةُ الأساسُ في علمِ المحتوى البروتينيِّ هي **الفصلُ الكهربائيُّ الهلاميُّ الثنائيُّ البعدِ Two-dimensional gel electrophoresis**، وهي طريقةٌ لفصلِ البروتيناتِ في عيِّنة إلى بقعٍ مفردةٍ، الشكلُ 10-7. يمكنُ للباحثِ أن يقطعَ بقعةَ بروتينٍ من الهلامِ ويعتمدَ طرقًا خاصةً في تحديدِ تتابعِ الأحماضِ الأمينيةِ في جزءٍ من البروتين. ويمكنه بالتالي، من خلالِ اعتمادِ المعلوماتيةِ الأحيائيةِ البحثُ ضمنَ DNA عن جينومٍ حُدِّدَ تتابعُ قواعدِه، ومطابقةُ جينٍ واحدٍ بالبروتينِ الفريد. سيوفِّرُ علمُ المحتوى البروتيني وعلمُ المعلوماتيةِ الأحيائيةِ، للباحثينَ في الحقلِ الطبّيِّ، إمكانيةَ تحديدِ أهدافٍ جديدةٍ للعقاقيرِ العلاجيةِ، وتطويرَ معالمَ جديدةٍ في تشخيصِ الأمراض.

النسقُ الدقيقُ

إن إحدى الأدواتِ المهمَّةِ في ثورةِ علمِ الجينوم هي تقنيّةٌ اسمُها *النسقُ الدقيقُ لـ DNA* *DNA microarrays*، وهي ترتيبٌ لجزيئاتِ DNA ثنائيِّ البعدِ يمثِّلُ آلافَ الجيناتِ المستنسخة. ويمكنُ لهذه التقنيّةِ أن تبيِّنَ الجيناتِ النشطةَ في الخليةِ. لتحضيرِ نسقٍ دقيقٍ، كهذا الظاهرِ في الصفحةِ الأولى من هذا الفصل، تقومُ آلاتٌ روبوتيةٌ بترتيبِ كمّياتٍ ضئيلةٍ جدًّا من تتابعاتِ نيوكليوتيداتِ آلافِ الجينات، على شريحةٍ مجهريّةٍ واحدة. مثلاً للبحثِ عن كيفيةِ اختلافِ خلايا الأورامِ عن الخلايا الطبيعيّةِ، يُمَيَّزُ mRNA الخاصُّ بالورمِ بأصباغٍ فلورسنتيةٍ ويُصبُّ على شرائحِ نسقٍ دقيقٍ. كلّما زادتْ كميةُ mRNA الذي يرتبطُ بـ DNA المتمِّم له، في بقعةٍ معيّنةٍ على الشريحةِ، ازدادَ اللونُ لمعانًا، وهذا يشيرُ إلى أن الجينَ المعنيَّ نشطٌ جدًّا. يَستخدمُ الأطباءُ تحليلَ النسقِ الدقيقِ لـ DNA في تصنيفِ أمراضِ السرطانِ لدى المرضى. ويمكنُ لهذا التصنيفِ أن يقودَ إلى اتِّخاذِ قراراتٍ مبنيَّةٍ على معلوماتٍ أفضل، تحدِّدُ أفضلَ نوعٍ من العلاج.

مراجعةُ القسمِ 10-2

1. صِفْ هدفَين رئيسَين لمشروعِ الجينومِ البشريِّ.
2. لخِّصْ أربعةَ اكتشافاتٍ ناتجةٍ عن التحليلِ الأساسيِّ لتتابعِ نيوكليوتيداتِ الجينومِ البشريِّ بكامله.
3. ما فائدةُ استخدامِ نماذجِ الأنواعِ الحيّةِ في دراسةِ الجينات؟
4. صِفْ خَلَلَيْن وراثيَّيْن يمكنُ معالجتُهما بالاعتمادِ على معلوماتِ تقنيّةِ DNA المكتسبةِ من مشروعِ الجينومِ البشريِّ.
5. ميِّزْ بينَ علمِ المحتوى البروتينيِّ وعلمِ المعلوماتيةِ الأحيائية.

تفكيرٌ ناقد

6. كيف أسهمَ النموُّ السريع لصناعةِ تقنيَةِ الحاسوب، خلالَ تسعينيّاتِ القرنِ الماضي، في مشروعِ الجينومِ البشري؟
7. قد يفترضُ بعضُ الناسِ أنّ عددَ الجيناتِ التي يحتوي عليها الجينومُ يزدادُ مع ازديادِ النيوكليوتيداتِ فيه. ضعْ رسمًا بيانيًّا للبياناتِ الواردةِ في الجدولِ 10-1. أتتفقُ في الرأيِ مع أولئك الناسِ أم لا؟ وضِّحْ إجابتَك.

القســـم

3-10

النواتج التعليمية

▲ يناقشُ تطبيقاتِ الهندسةِ الوراثيَّةِ في حقلِ الطب.

● يلخِّصُ كيف تُستخدمُ الهندسةُ الوراثيَّة حاليًّا في محاولةِ معالجةِ الاختلالاتِ الوراثية.

■ يناقشُ الاستنساخَ والتقنيّةَ المرتبطةَ به.

◆ يصفُ طريقتَين لاستخدامِ الهندسةِ الوراثيَّة في تحسينِ نباتاتِ المحاصيلِ الزراعية.

▲ يناقشُ المواضيعَ البيئيةَ والأخلاقيةَ المرتبطةَ بالهندسةِ الوراثيَّة.

الهندسةُ الوراثيَّة

إضافةً إلى اعتمادِ بصماتِ DNA وعلمِ الجينوم، يجري اعتمادُ تقنيّاتِ الهندسةِ الوراثيَّة في الحقلِ الطبِّي والصناعيِّ والتجاريِّ والزراعيّ. يناقشُ هذا القسمُ بعضَ تلك التطبيقاتِ، والمواضيعَ الأخلاقيةَ التي تثيرُها هذه التقنيّات.

التطبيقاتُ في الحقلِ الطبي

سمحَتِ الهندسةُ الوراثيَّةُ لعلماءِ الأحياءِ دراسةَ كيفيةِ عملِ الجينات. فمثلاً، استخدمَ الباحثون الهندسةَ الوراثيَّة في دراسةِ نموِّ الدماغِ وتطوُّرِه لدى الفئران، بهدفِ تحديدِ ما ينشِّطُ الجين *Hoxd4* أثناءَ نموِّ الدماغِ الخلفيِّ للجنين. وهذه المسألةُ مهمَّة، لأنَّ النموَّ غيرَ الطبيعيِّ للدماغِ الخلفيِّ قد يُسهمُ في تطوُّرِ مرضِ التوحُّد Autism، وهو خللٌ يؤدّي إلى اضطرابٍ في قدرةِ الطفلِ على التواصلِ والاندماجِ في المجتمع.

دمجَ الباحثون الجين *Hoxd4* والمنطقةَ المجاورةَ له مع «جين *دليل*» *Reporter gene*. الجينُ الدليلُ مسؤولٌ عن أنزيمٍ يمكنُهُ إنتاجُ مادةٍ ذاتِ لونٍ أزرق. أدخلَ الباحثونَ DNA معادَ التركيبِ إلى خلايا الفأر، وجعلوا الأجنَّةَ تنمو، فوجدوا أن المنطقةَ المجاورةَ للجينِ *Hoxd4* قد تنشِّطُ الجينَ الدليلَ وإنتاجَ المادةِ الزرقاء، الشكل 10-8 أ. وعندما أحدثوا طفرةً في المنطقةِ المجاورة اكتشفوا (من خلالِ عدمِ وجودِ اللونِ الأزرق) أن تعبيرَ هذا الجينِ كان موجودًا في الحبلِ الشوكيِّ وليس في الدماغِ الخلفيِّ للجنين، الشكلُ 10-8 ب. فاستنتجوا أن تتابعَ القواعدِ النيتروجينيّةِ في DNA المجاورِ للجينِ *Hoxd4* يسهمُ في التحكُّمِ في نموِّ الدماغِ الخلفيِّ وتطوُّرِه. مثلُ هذه التجاربِ يكشفُ عن أسرارِ عملِ الجيناتِ خلالَ النموِّ والتطوُّر، ويمكنُهُ، في النهايةِ، تأمينُ علاجاتِ الأمراض.

الدماغُ الخلفي

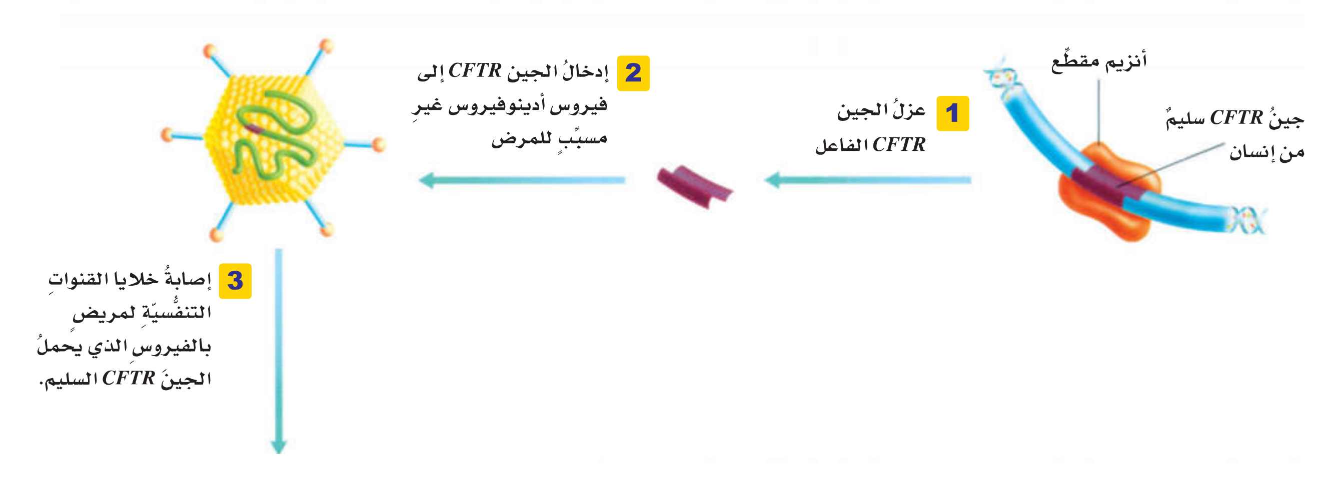
الحبلُ الشوكي

(أ)

(ب)

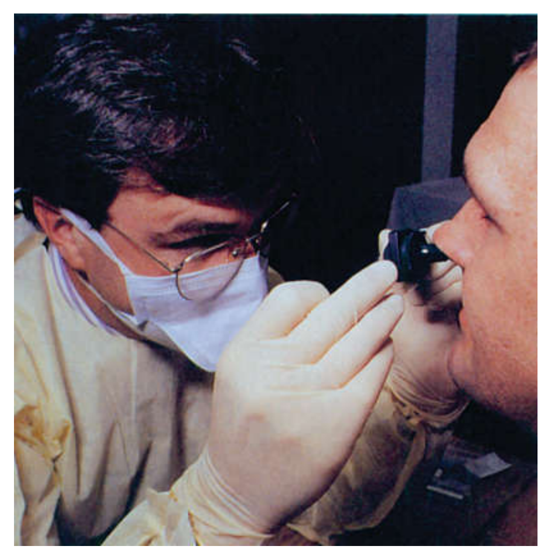
الشكل 10-8

(أ) يسهمُ DNA المجاورُ لجينِ *Hoxd4* عند الفئران في النموِّ السليمِ للدماغِ الخلفيِّ وتطوُّرِه. (ب) بعد أن أحدثَ باحثٌ طفرةً في DNA المجاور، استطاعَ أن يرى أن تعبيرَ الجينِ موجودٌ في الحبلِ الشوكيِّ وليس في الدماغِ الخلفيِّ.



المعالجةُ الجينية

سمحَتِ الهندسةُ الوراثيَّة أيضًا، لعلماءِ الأحياءِ، بمحاولةِ معالجةِ الاختلالاتِ الوراثيةِ بطرقٍ مختلفة. إحدى تلك الطرقِ هي التقنيّةُ التي تُسمّى المعالجةَ الجينية. في **المعالجة الجينية Gene therapy**، تتمُّ معالجةُ اختلالٍ وراثيٍّ عن طريق ادخالِ جينٍ إلى خلايا المريض. تعملُ المعالجةُ الجينيةُ، على أفضلِ وجهٍ، في الاختلالاتِ التي تنتجُ عن فقدِ بروتينٍ واحدٍ. مثلاً، يَنْتجُ المرضُ الرئويُّ، التليُّفُ الحوصليُّ، عن الافتقارِ إلى جينٍ فاعلٍ يُسمّى الجين *CFTR*. عندما يكونُ هذا الجينُ فاعلاً يؤدّي إلى تكوينِ بروتينٍ يسهمُ في نقلِ الأيوناتِ من وإلى خلايا موجودةٍ في القنواتِ التنفُّسية. وفي غيابِ هذا الجين، يتسبَّبُ تبادلُ الأيوناتِ الضعيفُ في ظهورِ أعراضِ التليُّفِ الحوصلي، ومن عواقبِ ذلك تراكُمُ مادةٍ مخاطيّةٍ لزجةٍ تسدُّ القنواتِ التنفُّسيّةَ.

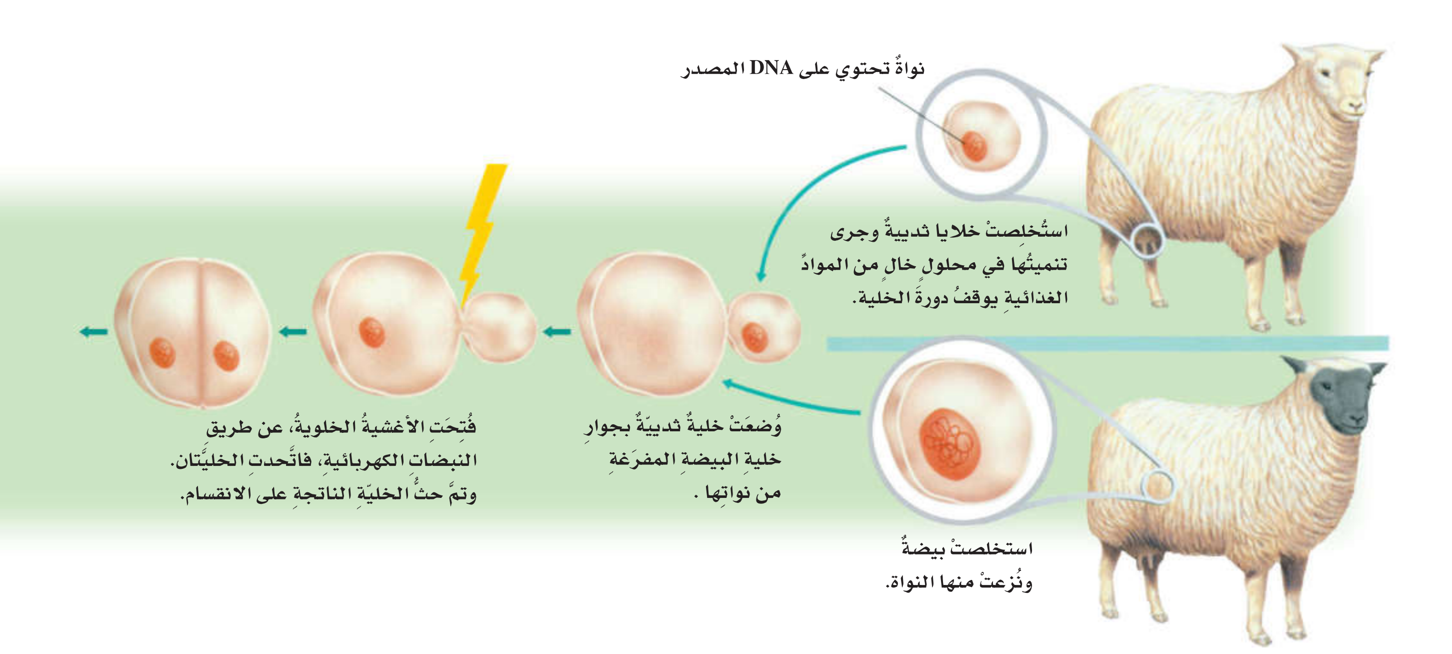


الشكل 10-9

يلخِّصُ الشكلُ خطواتِ المعالجةِ الجينيةِ لمرضِ التليُّفِ الحوصلي. يتلقى المريضُ الظاهرُ في الصورةِ الفوتوغرافيةِ معالجةً جينيةً لمرضِ التليُّفِ الحوصلي، يتمُّ إدخالُ نسخةٍ سليمةٍ من الجينِ المسؤولِ عن المرضِ إلى الخلايا المصابةِ بالتليُّفِ الحوصليِّ عن طريقِ الرشِّ داخلَ الأنف.

يلخِّصُ الشكلُ 10-9 خطواتِ المعالجةِ الجينية. يتمُّ إدخالُ الفيروسِ معادِ التركيبِ إلى المريض، عن طريقِ إصابةِ القنواتِ التنفُّسيةِ للمريض، وذلك عبرَ الرشِّ في الأنف.

إن الأشخاصَ الذينَ يشكونَ من أنواعٍ معيَّنةٍ من مرضِ نزفِ الدمِ ومرضِ نقصِ المناعةِ المُكتسبِ أو من بعضِ الأمراضِ السرطانيّةِ، هم المرشَّحونَ للمعالجةِ الجينيةِ في المستقبل. وإلى حينِ التمكُّنِ من إدخالِ DNA معادِ التركيبِ إلى الخلايا المعنية، وإلى أن يصبحَ في الإمكانِ منعُ ردّاتِ الفعلِ المناعيةِ، تظلُّ المعالجةُ الجينيةُ الحلَّ المناسبَ على المدى القصير.



الشكل 10-10
خطواتُ عمليّةِ الاستنساخ.

الاستنساخُ Cloning

بدأ علماءُ الأحياءِ في تسعينياتِ القرنِ العشرين استنساخَ كائناتٍ حيةٍ كاملةٍ، كالخرافِ والفئران. تُسمّى هذه العمليةُ **الاستنساخَ عن طريق نقل النواة Cloning by nuclear transfer**، أي نقلِ نواةٍ من خليةٍ جسميةٍ إلى بيضةٍ، لإنتاجِ كائنٍ حيٍّ مطابقٍ لمعطي النواة. وكانت النعجةُ دوللي أوّلَ حيوانٍ استُنْسِخَ بنجاحٍ انطلاقًا من نسيجٍ بالغ، وذلك عام 1996، الشكل 10-10.

برغمِ نجاحِ عمليّةِ الاستنساخ، عانتْ دوللي من شيخوخةٍ مبكِّرة، وماتت في سنِّ السادسة، أي إنها عاشت نصفَ مدى حياةِ نعجةٍ عاديةٍ فقط. تبيَّن للباحثينَ أنه كانت لدى دوللي وحداتٌ بنائيةٌ طرفيةٌ تسمى **تيلوميرات Telomeres**، وهي تتابعاتُ قواعدَ نيتروجينيةٍ متكرِّرةٌ في DNA توجدُ عند أطرافِ الكروموسومات، وتَقصُرُ مع كلِّ دورةٍ للانقسامِ الخلوي. إذن توجدُ علاقةٌ بين التيلوميرات القصيرةِ والشيخوخةِ المُبكرة.

كانَ الهدفُ من معظمِ عملياتِ استنساخِ الحيوانِ تعديلَ الجينومِ بطريقةٍ مفيدة. مثلاً، أجرى الباحثون تعديلاً واستنساخًا لماعزةٍ بحيثُ يمكنُها إفرازُ عواملِ تجلُّطٍ لدمِ الإنسانِ في حليبِها.

وجرتْ عملياتُ تعديلٍ لثدييّاتٍ مستنسخةٍ لمحاولةِ زرعِ بعضِ أعضائِها، كالقلبِ والكبد، في جسمِ الإنسانِ من دون أن يرفضَها الجسم. ويقومُ بعضُ الباحثين اليومَ باستنساخِ حيواناتٍ كنماذجَ لدراسةِ أمراضٍ تُصيبُ الإنسان، كمرضِ التليُّفِ الحوصلي.

اللَّقاحات

اللَّقاحُ مادةٌ تحتوي على مُسبِّبِ المرضِ كلِّهِ أو جزءٍ منه بصورةٍ لا تسبِّبُ إحداثَ المرضِ، يقومُ الأطبّاءُ بإدخالِهِ إلى الجسمِ لتوليدِ مناعةٍ ضدَّ المرض. يتعرَّفُ جهازُ





بعد خمسةِ أشهرٍ من الحمل، وُلِدَتْ نعجةٌ مطابقةٌ وراثيًّا للنعجةِ التي استُخرِجَتْ منها الخليةُ الثديية.

المناعةِ البروتيناتِ السطحيةَ لمسبِّبِ المرض، ويستجيبُ لها عن طريقِ بناءِ بروتيناتٍ دفاعيّةٍ تُسمّى الأجسامَ المضادّةَ. **لَقاحُ DNA**، **DNA vaccine**، هو لقاحٌ يُصنَعُ من DNA مُسبِّبِ المرض، إلاّ أنه لا يستطيعُ التسبُّبَ في المرض. يُحقنُ المريضُ بلقاحِ DNA، فيوجِّهُ اللَّقاحُ عمليّةَ بناءِ البروتين. فيقومُ جهازُ المناعةِ بإنتاجِ أجسامٍ مضادّةٍ ضدَّ هذا البروتين. إذا تعرَّضَ الشخصُ الذي جرى تلقيحُهُ لمسبِّبِ المرض هذا في وقتٍ لاحق، يُتَوقَّعُ أن توفِّرَ له مناعتُهُ الجديدةُ الحمايةَ من المرض. ويعملُ الباحثونَ حاليًّا على تطويرِ لقاحاتِ DNA للوقايةِ من مرضِ نقصِ المناعةِ المُكتَسبِ ومن الملاريا وبعضِ الأمراضِ السرطانيّةِ.

التطبيقاتُ في الحقلِ الزراعي

يستخدمُ الباحثونَ في عالَمِ النباتِ الهندسةَ الوراثيَّةَ لتطويرِ أنواعٍ جديدةٍ من النباتاتِ تُعرفُ بالمحاصيلِ *الزراعيّةِ المعدّلةِ وراثيًّا* *Genetically modified (GM) crops*. تشكِّلُ الحاجةُ إلى مزيدٍ من طعامٍ ذي قيمةٍ غذائيةٍ أفضلَ تحدِّيًا لعلماءِ أحياءِ النباتِ في عالمٍ يزدادُ عددُ سكّانِهِ بصورةٍ متسارعةٍ.

زيادةُ المحاصيلِ وتحسينُ التغذية

طوَّرَ علماءُ الأحياءِ نباتاتٍ ذاتَ محاصيلَ زراعيةٍ أكثرَ ملاءمةً للظروفِ البيئيّةِ. وأضافوا كذلك جيناتٍ إلى أنواعِ القمحِ والقطنِ وفولِ الصويا تجعلُ النباتاتِ مقاومةً *لمبيداتِ الأعشابِ* *Herbicides*. ولزيادةِ كمّيةِ الغذاءِ التي يمكنُ لمحصولٍ زراعيٍّ توفيرُها، قامَ الباحثونَ بنقلِ جيناتٍ مسؤولةٍ عن بناءِ بروتيناتٍ تَضُرُّ الحشراتِ والقوارضَ إلى نباتاتٍ ذاتِ محاصيلَ زراعية. هكذا تتمُّ حمايةُ النباتاتِ من الإصابةِ بأضرارٍ جسيمة، ويتمُّ بالتالي إنتاجُ كمياتٍ أكبرَ من الغذاء. وقد استُخدِمَتْ تقنيّاتٌ مشابهةٌ في جعلِ النباتاتِ مقاومةً لبعضِ الأمراضِ.

جذرُ الكلمةِ وأصلُها

مبيدُ الأعشاب

Herbicide

من اليونانية herba وتعني «النبات»، و cida وتعني «القتل».

وتمكَّنَ أخصائيُّو الهندسةَ الوراثيَّةِ أيضًا من تحسينِ القيمةِ الغذائيةِ للعديدِ من نباتاتِ المحاصيلِ الزراعية. فمثلاً، تعتمدُ شعوبٌ كثيرةٌ في القارّةِ الآسيويةِ، على الأرُزِّ كمصدرِ غذاءٍ أساسي. لكن الأرُزَّ يحتوي على تركيزٍ متدنٍّ من الحديدِ ومن بيتا كاروتين اللذين يستخدمُهما الجسمُ في إنتاجِ الفيتامين A. ونتيجةً لذلك، يشكو ملايينُ الناسِ هناك من نقصٍ في الحديدِ وفي الفيتامين A. فأضافَ أخصّائيُّو الهندسةِ الوراثيَّةِ جيناتٍ مختصَّةً إلى نباتِ الأرُزِّ للتغلُّبِ على هذه النواقص.

مواضيعُ أخلاقية

علمُ الأخلاقيّاتِ الأحيائيةِ Bioethics يتناولُ بالدراسةِ المواضيعَ الأخلاقيةَ المرتبطةَ بتقنيّةِ DNA. كثيرٌ من العلماءِ، ومن غيرِ العلماءِ، معنيونَ بتحديدِ ومعالجةِ أيِّ مواضيعَ أخلاقيةٍ وقانونيةٍ واجتماعيةٍ يمكنُ أن تنشأ، مع الاستمرارِ في تطويرِ تقنيّاتِ الهندسةِ الوراثيَّةِ، فهم يرغبونَ في التثبُّتِ من أنَّ أيًّا من هذه الوسائلِ لن يكونَ خطرًا، أو ذا نتائجَ غيرَ مرغوبٍ فيها، كما أنهم مدعوونَ إلى التحقُّقِ من الاستخدامِ بعنايةٍ لأيِّ تقنيّةٍ وبياناتٍ مستجدَّة. وإن العلماءَ جميعَهم تقريبًا يوافقونَ على أنّ هناك حاجةً إلى اعتمادِ القيودِ والرقابةِ الذاتيّة.

مثلاً، بعضُ الناسِ قلقون من احتمالِ تسبُّبِ المحاصيلِ الزراعيةِ المعدَّلةِ وراثيًّا في إلحاقِ الضررِ بالبيئة، بطرقٍ غيرِ معهودة. ما الذي يمكنُ أن يحدثَ لو انتقلتْ جيناتُ مقاومةِ مبيداتِ الأعشاب، إلى أعشابٍ برّيةٍ ضارّةٍ للمحصولِ الزراعي المعدَّلِ وراثيًّا؟ ويوافقُ معظمُ علماءِ الأحياءِ على وجوبِ إجراءِ اختباراتٍ دقيقةٍ واعتمادِ إجراءاتِ الأمانِ والسلامةِ قبل السماحِ للمزارعينَ بإطلاقِ كائناتٍ حيةٍ معدَّلةٍ وراثيًّا في البيئة.

ويَعتَبِرُ معظمُ العلماءِ، حاليًّا، أن المعالجةَ الجينيةَ غيرُ أخلاقيةٍ إذا كانت تُعنى بالخلايا التكاثريّةِ التي يمكنُها أن تؤثِّرَ في الأجيالِ المستقبليّة. ومعظمُ الناسِ يعتبرونَ أن استنساخَ أجنَّةِ الإنسانِ، بهدفِ التكاثُرِ، مسألةٌ غيرُ أخلاقيّة.

مراجعةُ القسم 3-10

1. اذكرْ نوعَينِ من المُنتجاتِ الطبيةِ يمكنُ الحصولُ عليهما باستخدامِ تقنيّةِ DNA.
2. كيف استخدمَ الباحثونَ في الحقلِ الطبيِّ المعالجةَ الجينيةَ لمساعدةِ الناسِ الذينَ يشكونَ من مرضِ التليُّفِ الحوصليِّ؟
3. ما الخطواتُ الرئيسةُ التي اعتمدتْ لاستنساخِ نعجةٍ؟
4. ما العلاقةُ بين الأخلاقياتِ الأحيائيةِ والتطويرِ المستمرِّ لتقنيّاتِ الهندسةَ الوراثيَّة؟

تفكيرٌ ناقد

5. هل يجبُ وضعُ بطاقاتِ تعريفٍ خاصةٍ للمنتجاتِ الغذائيّةِ الناتجةِ عن الهندسةِ الوراثيَّة؟ برِّر إجابتَك.
6. لو كنتَ مهندسًا تطبِّقُ الهندسةَ الوراثيَّةَ على محصولٍ زراعيٍّ، ما النباتُ الذي كنتَ تختارُهُ؟ وماذا كنتَ تفعلُ لتحسِّنَه؟

مراجعةُ الفصل 10

ملخَّصٌ / مفرداتٌ

1-10

- توفِّرُ تقنيّةَ DNA وسائلَ تمكنُ من معالجةِ جزيئاتِ DNA لأهدافٍ علمية.
- تختلفُ تتابعاتُ القواعدِ النيتروجينيّةِ المتكرِّرةُ في DNA غيرِ المسؤولِ عن بناءِ بروتين، من فردٍ إلى آخر، وتُستخدَمُ بالتالي في تحديدِ هويّةِ الفرد.
- لتعرُّفِ عيِّنةٍ من DNA، يقومُ العلماءُ بعزلِ DNA ومضاعفتِهِ باستخدامِ التفاعلِ المتسلسلِ لأنزيمِ البلمرةِ PCR. بعدها، يُقَطَّعُ DNA إلى أجزاءٍ باستخدامِ أنزيماتٍ مقطِّعة. وتُفصَلُ الأجزاءُ وفقًا لأطوالِها، عن طريقِ الفصلِ الكهربائيِّ الهلاميِّ. تتمُّ مقارنةُ نمطِ الخطوطِ الناتجِ عن ذلك بنمطِ الخطوطِ لعيِّنةٍ معروفةٍ من DNA جرتْ معالجتُها بالطريقةِ نفسِها.
- تتعرَّفُ الأنزيماتُ المقطِّعةُ تتابعاتِ نيكليوتيداتٍ محدَّدةٍ وتقطِّعُها. تؤدّي هذه العمليةُ إلى تكوُّنِ سلاسلَ أُحاديةٍ تسمّى أطرافًا دبقةً عند أطرافِ كلِّ قطعةٍ من DNA. يمكنُ لأنزيمِ ربطِ DNA أن يدمُجَ الأطرافَ الدبقةَ ليربطَ قِطَعَ DNA بعضَها ببعض.
- يستخدمُ الباحثون أنزيماتٍ مقطِّعةً لإدخالِ قِطَعِ DNA إلى موجِّه. يُسمّى DNA الناتجَ عن كائناتٍ حيّةٍ مختلفةٍ DNA معادَ التركيب.

مفردات

- الأطوالُ المتعدِّدةُ Length polymorphism (183)
- الأنزيمُ المقطِّعُ Restriction enzyme (185)
- البادئةُ Primer (190)
- بصمةُ DNA fingerprint DNA (185)
- البلازميدُ Plasmid (186)
- التفاعلُ المتسلسلُ لأنزيمِ البلمرة (184) Polymerase chain reaction (PCR)
- التكرارُ المترادفُ متغيِّرُ العدد (VNTR) (183) Variable number of tandem repeats
- الفصلُ الكهربائيُّ الهلامي (185) Gel electrophoresis
- المسبارُ Probe (187)
- المستنسخُ Clone (186)
- DNA معادُ التركيب Recombinant DNA (186)
- الموجِّهُ Vector (186)
- الهندسةُ الوراثيّةُ Genetic Engineering (186)

2-10

- كانتِ الأهدافُ المرسومةُ لمشروعِ الجينومِ البشريِّ تحديدَ تتابعِ نيوكليوتيداتٍ فيهِ، ووضْعَ خريطةٍ لموقعِ كلِّ جينٍ على كلِّ كروموسوم. هذه المعلوماتُ ستُحقِّقُ تقدُّمًا في تشخيصِ ومعالجةِ الاختلالاتِ الوراثيةِ لدى الإنسانِ والوقايةِ منها.
- أدّى مشروعُ الجينومِ البشريِّ إلى الحصولِ على معلوماتٍ مهمَّةٍ حولَ بروتيناتِ الإنسانِ وجيناته. مثلاً، تبيَّنَ أن الجيناتِ المسؤولةَ عن بناءِ عددٍ من البروتيناتِ عند الإنسانِ هي أقلُّ بكثيرٍ مما كان يُعتقد، لكنها تُسهمُ في بناءِ عددٍ أكبرَ بكثيرٍ من البروتيناتِ، والسببُ هو الطريقةُ المعقَّدةُ التي تتكوَّنُ بها.
- اشتملَ مشروعُ الجينومِ البشريِّ على تحديدِ تتابعِ القواعدِ النيتروجينيةِ لجيناتِ الكثيرِ من نماذجِ الأنواعِ الحية، وكان الهدفُ توفيرَ فهمٍ أفضلَ لوظائفِ الجينات.
- جرى تطبيقُ المعلوماتِ التي نتجتْ عن مشروعِ الجينومِ البشريِّ لأهدافٍ طبيةٍ وتجاريةٍ وعلمية.
- تعتمدُ المعلوماتيّةُ الأحيائيّةُ على الحاسوبِ لوضعِ فهرسٍ للجينومِ ولتحليلِه، كي يسمحَ النسقُ الدقيقُ، وهو ترتيباتٌ ثنائيةُ البُعدِ للجيناتِ المستنسخة، بأن يُجريَ الباحثون مقارناتٍ بين جيناتٍ معيَّنة، كالجيناتِ التي تتسبَّبُ في أمراضٍ سرطانية. وعلمُ المحتوى البروتينيِّ يشتملُ على دراسةِ أنواعِ بروتيناتِ الكائنِ الحيِّ ودراسةِ تراكيبِها ووفرتِها وتفاعلاتِها.

مفرداتٌ

- علمُ المحتوى البروتيني Proteomics (192)
- الفصلُ الكهربائيُّ الهلاميُّ الثنائيُّ البعد (192) Two-dimensional gel electrophoresis
- المحتوى البروتيني Proteome (190)
- المعلوماتيّةُ الأحيائيةُ Bioinformatics (192)
- المواقعُ المختلفةُ بنيوكليوتيدٍ واحد (SNP) (190) Single nucleotide polymorphisms
- مشروعُ الجينومِ البشريِّ (189) Human genome project

3-10

- تُستخدمُ الهندسةُ الوراثيّةُ في توفيرِ علاجاتِ أمراضٍ وراثيةٍ محدَّدة.
- تُعنى المعالجةُ الجينيةُ بمعالجةِ الاختلالاتِ الوراثيةِ عن طريقِ تصحيحِ خللٍ في جينٍ أو عن طريقِ توفيرِ شكلٍ سليمٍ لجينٍ معيّن. يأملُ الباحثون في أن تتوفَّرَ إمكانيةُ استخدامِ المعالجةِ الجينيةِ للشفاءِ من الاختلالاتِ الوراثية، في المستقبل.
- في عمليةِ الاستنساخِ عن طريقِ نقلِ النواة، يتمُّ إدخالُ نواةِ خليةٍ جسميةٍ من فردٍ معيّنٍ إلى بيضةِ فردٍ آخر (مفرَغةٍ من نواتِها). ينتجُ عن ذلك كائنٌ حيٌّ مطابقٌ لمعطي النواة.
- تُستخدَمُ الهندسةُ الوراثيَّةُ في إنتاجِ نباتاتٍ ذاتِ محاصيلَ زراعيّةٍ مقاومةٍ للأمراضِ والحشراتِ ومبيداتِ الأعشاب، في محاولةٍ لتحسينِ المحاصيلِ والقيمةِ الغذائيّةِ لطعامِ الإنسان.
- يتخوَّفُ بعضُ الناسِ من أن يؤدّيَ إطلاقُ الكائناتِ الحيّةِ المعدَّلةِ وراثيًّا في الطبيعةِ إلى مخاطرَ بيئيّة. فالكثيرُ من المسائلِ المتعلِّقةِ بالسلامةِ والبيئةِ والأخلاقيّات، مما يخصُّ الهندسةَ الوراثيّة، لم تتوفَّر له حلولٌ حتى الآن.

مفرداتٌ

- الاستنساخُ عن طريقِ نقلِ النواة (196) Cloning by nuclear transfer
- الأخلاقيّاتُ الأحيائيةُ Bioethics (198)
- التيلوميرُ Telomere (196)
- لقاحُ DNA vaccine DNA (197)
- المعالجةُ الجينيةُ Gene therapy (195)

مراجعة

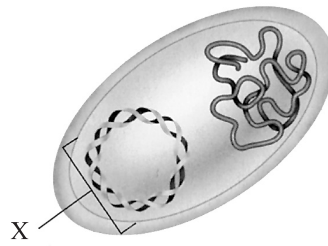
مفرداتٌ

1. ما العلاقةُ بين الأطوالِ المتعدّدةِ والتكرارِ المترادفِ متغيّرِ العددِ (VNTR)؟
2. وضّحِ الفرقَ بين كلِّ زوجٍ من المصطلحاتِ التالية:
   أ. الفصلُ الكهربائيُّ الهلاميُّ وبصمةُ DNA.
   ب. الأنزيمُ المقطِّعُ و DNA معادُ التركيب.
   ج. الموجّهُ والبلازميد.
3. استخدمِ المُصطلحَيْنِ التالِيَيْنِ في جملةٍ واحدة: الاستنساخُ عن طريقِ نقلِ النواةِ؛ التيلوميرات.

اختيارٌ من مُتعدِّد

4. ما الجزيءُ الذي يحتوي على DNA من كائنَيْنِ حيين مختلفَين؟
   أ. DNA الموجِّه.
   ب. DNA المستنسخ.
   ج. DNA البلازميدي.
   د. DNA معادُ التركيب.
5. أيٌّ من التالي يُستخدمُ في قطعِ جزيئاتِ DNA في مواقعَ معيّنة؟
   أ. موجِّه الاستنساخ.
   ب. أنزيماتُ الاستنساخ.
   ج. الأنزيماتُ المقطِّعة.
   د. التفاعلُ المتسلسلُ لأنزيمِ البلمرة.
6. ماذا يسمّى إدخالُ جينٍ سليمٍ إلى شخصٍ لديهِ جينٌ غيرُ سليم؟
   أ. موجِّه الاستنساخ.
   ب. المعالجةُ الجينية.
   ج. DNA معادُ التركيب.
   د. التفاعلُ المتسلسلُ لأنزيمِ البلمرة.
7. ما العمليةُ المستخدَمةُ في استنساخِ الحيوان؟
   أ. استنساخُ DNA.
   ب. إعادةُ تركيبِ DNA.
   ج. التفاعلُ المتسلسلُ لأنزيمِ البلمرة.
   د. الاستنساخُ عن طريقِ نقلِ النواة.

يبيّنُ هذا الرسمُ التخطيطيُّ خليّةَ بكتيريا.
استخدمِ الرسمَ التخطيطيَّ للإجابةِ عن السؤالِ التالي:



8. أيٌّ من التالي أفضلُ وصفٍ للجزيء X؟
   أ. جينُ الأنسولين.
   ب. DNA معادُ التركيب.
   ج. بلازميدٌ بكتيري.
   د. فيروسٌ مسبِّبٌ للمرض.
9. ماذا يُسمّى البلازميدُ البكتيريُّ بعد إدخالِ DNA من معطٍ إلى DNA البكتيريا؟
   أ. DNA الموجّه.
   ب. DNA المستنسخ.
   ج. DNA البلازميدي.
   د. DNA مُعادُ التركيب.
10. علمُ المحتوى البروتيني : البروتينات ؛ علمُ الجينوم
   أ. الدهون.
   ب. الجينات.
   ج. البروتينات.
   د. الكربوهيدرات.

هذا الرسمُ التخطيطيُّ مكوَّنٌ من قطعتَينِ من DNA جرى قطعُهُما بواسطةِ الأنزيمِ المقطِّعِ نفسِه. استخدمِ الرسمَ التخطيطيَّ للإجابةِ عن السؤالِ التالي:





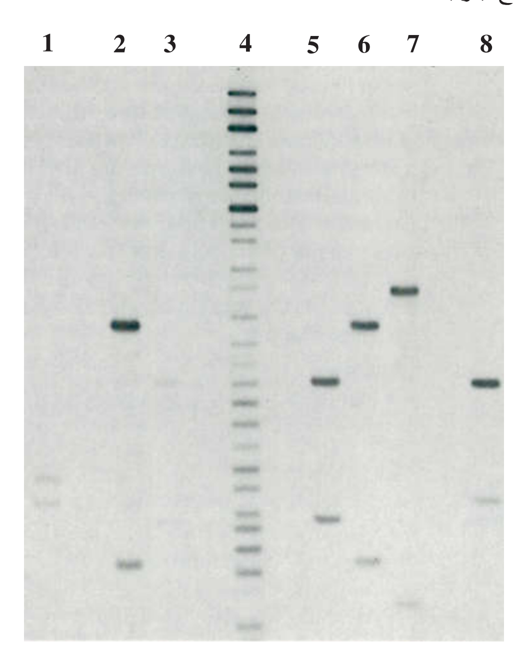
11. ما تتابعُ القواعدِ النيتروجينية الذي يجبُ أن يتَّصفَ به الطرفُ الدبقُ رقم 2 ليرتبطَ بالطرفِ الدبقِ رقم 1؟
   أ. UGGCCU
   ب. TCCGGA
   ج. ACCGGT
   د. CTTAAG

إجابةٌ قصيرةٌ

12. صفْ كيفيّةَ استخدامِ VNTR في تعرُّفِ DNA.
13. سمّ أربعَ خطواتٍ رئيسةٍ في تعرُّفِ DNA.
14. ما الهدفُ من اعتمادِ التفاعلِ المتسلسلِ لأنزيمِ البلمرة.
15. كيف تُستخدمُ الأنزيماتُ المقطّعةُ؟
16. كيف يتمُّ التوصلُ إلى بصمةِ DNA؟
17. ما العلاقةُ بين موجِّهِ الاستنساخِ وDNA معادِ التركيبِ؟
18. اذكرْ تطبيقَين لتعرُّفِ DNA.
19. اذكرِ هدفَيْنِ رئيسَيْنِ لمشروعِ الجينومِ البشريِّ.
20. ناقشْ ثلاثةَ اكتشافاتٍ لمشروعِ الجينومِ البشريِّ.
21. كيف يمكنُ أن تطبَّقَ المعلوماتُ المكتسبةُ من مشروعِ الجينومِ البشريِّ؟
22. ما دورُ المعلوماتيّةِ الأحيائيّةِ في مشروعِ الجينومِ البشريِّ؟
23. كيف استُخدمتِ المعالجةُ الجينيّةُ في معالجةِ مرضِ التليُّفِ الحوصليِّ؟
24. كيف استخدمَ علماءُ الأحياءِ الاستنساخَ عن طريقِ نقلِ النواةِ في استنساخِ الحيواناتِ؟
25. اذكرْ طريقتَين قد تجعلانِ الهندسةَ الوراثيَّةَ تزيدُ من المحاصيلِ الزراعيّةِ؟
26. صفِ الخطواتِ التي يتَّخذُها العلماءُ للتثبُّتِ من استخدامِ المجتمعِ لتقنيّاتِ الهندسةِ الوراثيَّةِ بعنايةٍ.
27. المسبارُ هو سلسلةُ RNA أو DNA الأحاديّةُ، مُيِّزتْ بمادّةٍ مشعَّةٍ أو بصبغٍ فلورسنت. كيف يَستخدمُ علماءُ الأحياءِ المسبارَ لتحديدِ موقعِ DNA المستنسَخِ ؟
28. استخدمِ المفرداتِ التاليةَ لوضعِ خريطةِ مفاهيمَ تتعلَّقُ بالهندسةِ الوراثيَّةِ: DNA المرغوب، موجِّه، DNA معادُ التركيبِ، بلازميدات، أنزيمات مقطِّعة، أطرافٌ دبقة.

تفكيرٌ ناقد

1. تمَّ في الماضي إنتاجُ أصنافٍ جديدةٍ من النباتاتِ ومن الحيواناتِ عن طريقِ انتقاءِ كائناتٍ حيةٍ ذاتِ سماتٍ مرغوبٍ فيها وجعْلِها تتزاوج. اذكرْ إيجابيةً وسلبيةً لتقنيّاتِ الهندسةِ الوراثيَّةِ المستخدمةِ مقارنةً مع الطرقِ السابقةِ.
2. تُظهرُ الصورةُ الفوتوغرافيةُ أدناهُ ثمانيةَ صفوفٍ (أعمدة) في الهلام. يحتوي العديدُ من هذه الصفوفِ على بصماتِ DNA لعيّناتٍ أُخذَتْ من مسرحِ جريمةٍ، ولضحيةٍ، ولأربعةِ أشخاصٍ مشتَبَهٍ فيهم. أيُّ بصمةِ DNA لمشتبهٍ به تتطابقُ مع الدمِ الذي وُجدَ في مسرحِ الجريمة. أمنَ المرجَّحِ أن يكونَ الدمُ الذي عُثرَ عليه في مسرحِ الجريمةِ عائدًا للمشتبهِ به؟ وضِّحْ جوابَك.



مفتاح:

1. الضابط
2. الدم
3. الضحيّة
4. معياري
5. المشتَبَهُ به الأول
6. المشتَبَهُ به الثاني
7. المشتَبَهُ به الثالث
8. المشتَبَهُ به الرابع

توسيعُ آفاقِ التفكير

اكتبْ تقريرًا حولَ النظمِ واللوائحِ التي تصدرُها الحكومةُ في مؤسساتِ الرقابةِ الغذائيّةِ المتعلّقةِ باستخدامِ المنتجاتِ الغذائيّةِ المعدَّلةِ وراثيًّا.

المفردات

أ

الإباضةُ Ovulation تحريرُ البيضةِ الناضجةِ من الحوصلةِ في المبيض. (112)

الأبهرُ Aorta شريانٌ رئيسٌ في الجسم ينقلُ الدمَ من البطينِ الأيسرِ إلى الدورةِ الجهازيّةِ. (26)

الاحتمالُ Probability نسبةُ عددِ المرّاتِ التي يمكنُ أن يتكرَّرَ فيها وقوعُ الحدثِ على عددِ المرّاتِ التي يقعُ فيها الحدثُ. (133)

الاختلالُ الوراثيُّ Genetic disorder مرضٌ وراثيٌّ أو خللٌ سببُهُ طفرةٌ في جينٍ أو عيبٌ في كروموسوم. (172)

الأخلاقياتُ الأحيائيّةُ Bioethics دراسةُ المواضيعِ الأخلاقيّةِ المرتبطةِ بتقنيَّةِ DNA. (198)

الإدمانُ Addiction حالةٌ لا يعودُ معها في استطاعةِ الشخصِ التحكُّمُ في استخدامِ العقارِ. (83)

الأذينُ Atrium غرفةٌ تستقبلُ الدمَ العائدَ إلى القلبِ. (25)

الاستبدالُ Substitution طفرةٌ يحلُّ معها نيوكليوتيدٌ أو كودونٌ في DNA مكانَ نيوكليوتيدٍ آخرَ. (170)

الاستجابةُ الالتهابيّةُ Inflammatory response استجابةٌ وقائيّةٌ للأنسجةِ التي أُصيبتْ بمرضٍ أو ضررٍ، تتّصفُ بالاحمرارِ والانتفاخِ والألمِ. (49)

الاستجابةُ المناعيّةُ Immune response ردّةُ فعلِ الجسمِ ضدَّ مولِّداتِ الضدِّ. (52)

الاستجابةُ المناعيّةُ الإفرازيّةُ Humoral immune response استجابةٌ مناعيّةٌ تتمُّ بواسطةِ عملِ الأجسامِ المضادَّةِ في سوائلِ الجسمِ. (54)

الاستجابةُ المناعيَّةُ الخلويَّةُ Cell-mediated immune response استجابةٌ مناعيّةٌ تعملُ لتحميَ الخلايا من الخلايا الغريبةِ المهاجمةِ، وهي تعتمدُ على عملِ الخلايا T. (53)

الإستروجينُ Estrogen هرمونٌ ينظِّمُ التطوّرَ الجنسيَّ والوظيفةَ التكاثريّةَ للإناثِ. (97)

الاستشارةُ الوراثيّةُ Genetic counseling عمليةُ فحصٍ وإعلامِ آباءٍ محتملينَ عن تركيبِهِم الجينيِّ واحتمالِ أن يكونَ لدى أبنائِهِم عيوبٌ أو أمراضٌ وراثيّةٌ. (177)

الاستنساخُ عن طريقِ نقلِ النواةِ Cloning by nuclear transfer نقلُ نواةٍ من خليّةٍ جسميّةٍ إلى بيضةٍ أُفرغتْ من مادّتِها الوراثيّةِ بهدفِ استنساخِ كائنٍ حيٍّ كاملٍ. (196)

إشارةُ الانتهاءِ Termination signal تتابعٌ معيَّنٌ من النيوكليوتيداتِ يحدِّدُ نهايةَ جينٍ. (156)

الإصابةُ الانتهازيّةُ Opportunistic infection إصابةُ شخصٍ بكائنٍ حيٍّ دقيقٍ لا يسبِّبُ المرضَ عادةً، لكنهُ يصبحُ مسبِّبًا للمرضِ عندما يكونُ جهازُ المناعةِ ضعيفًا. (61)

الأصلُ Origin في علمِ التشريحِ، النقطةُ التي تربطُ عضلةً بعظمٍ ثابتٍ. (18)

الأكتينُ Actin بروتينٌ يكوِّنُ الخيوطَ الدقيقةَ لأليافِ العضلةِ ويعملُ على تقلُّصِ العضلةِ وانبساطِها. (16)

التهابُ المفاصلِ الروماتيديُّ Rheumatoid arthritis خللٌ مزمنٌ في جهازِ المناعةِ، يسبّبُ تصلُّبَ المفاصلِ والشعورَ بالألمِ. (14)

التهابُ المفاصلِ العظميُّ Osteoarthritis مرضٌ مفصليٌّ انحلاليٌّ يصيبُ الغضروفَ الذي يغطي أسطحَ العظامِ فتصبحُ أرقَّ وأخشنَ. (14)

الأليلُ Allele واحدٌ من الأشكالِ البديلةِ لجينٍ تقعُ على الكروموسوماتِ مسؤولةٌ عن ظهورِ وانتقالِ السماتِ الوراثيّةِ، وتتكونُ نتيجةَ عمليّةِ الطفراتِ. (130)

الإنترفيرونُ Interferon بروتينٌ تنتجُهُ الخلايا التي أُصيبتْ بفيروسٍ. وهو يحمي الخلايا غيرَ المصابةِ من إصابتِها بفيروساتٍ. (50)

الانتفاخُ الرئويُّ Emphysema مرضٌ في الرئةِ يتميّزُ بتلفِ الحويصلاتِ الهوائيَّةِ، مما يخفِّضُ المساحةَ المتوفِّرةَ لتبادلِ الغازاتِ. (86)

الانتقالُ Translocation انتقالُ جزءٍ من DNA من كروموسومٍ معنيٍّ إلى آخرَ، بحيثُ ينتجُ تغييرٌ في موقعِ الجزءِ من DNA. (169)

أنزيمُ بلمرةِ DNA polymerase DNA الأنزيمُ الذي يحفِّزُ تكوينَ جزيءِ DNA. (150)

أنزيمُ بلمرةِ RNA polymerase RNA أنزيمٌ يحفِّزُ تكوينَ RNA باستعمالِ سلسلةٍ من جزيءِ DNA كقالبٍ. (156)

الأنزيمُ المقطِّعُ Restriction enzyme الأنزيمُ الذي يحطِّمُ جزيئاتِ DNA الغريبةَ بقَطْعِ DNA في مواقعَ معيَّنةٍ. (185)

أنزيمُ الهليكيز Helicase أنزيمٌ يفصلُ سلسلتَيْ DNA. (155)

الأنسولينُ Insulin هرمونٌ تنتجُهُ مجموعةُ خلايا متخصِّصةٌ توجدُ في البنكرياس، ويخفضُ تركيزَ الجلوكوزِ في الدمِ. (99)

الانغراسُ Implantation العمليّةُ التي تنطمرُ بها في بطانةِ الرحمِ البويضةُ المخصَّبةُ حديثًا، والتي تكونُ قد أصبحتْ حوصلةً بلاستيوليّةً. (115)

الانقطاعُ Withdrawal أعراضٌ نفسيّةٌ وجسميّةٌ غيرُ مريحةٍ تنتُجُ عندما يتوقَّفُ شخصٌ يعتمدُ أحيانًا على عقارٍ، عن استخدامِ هذا العقارِ. (83)

الانقلابُ Inversion عكسٌ لترتيبِ الجيناتِ، أو لجزءٍ من الكروموسومِ ضمن الكروموسومِ. (169)

الأنيبيبُ المنويُّ Seminiferous tubule في كلٍّ من الخصيتين، أحدُ الأنيبيباتِ العديدةِ التي يتمُّ فيها إنتاجُ الحيواناتِ المنويّةِ (107)

الإيبينفرين Epinephrine هرمونٌ يُنتِجُهُ النخاعُ الكظريُّ. وهو يزيدُ سرعةَ الأيضَ في الحالاتِ الطارئةِ، ويسبِّبُ نقصًا في إفرازِ الأنسولين، ويزيدُ النبضَ وضغطَ الدمِ. ويسمّى أيضًا الأدرينالين. (97)

ب

الحدقة Pupil فتحةٌ وسطَ قُزَحيّةِ العين تتحكمُ في كمّيّةِ الضوءِ الداخل إلى العين. (80)

البادئةُ Primer قطعةٌ من RNA أو DNA صغيرةٌ أحاديّةُ السلسلةِ يلزمُ توفُّرُها لمضاعفةِ DNA. (184)

الببتيدُ العصبيُّ Neuropeptide هرمونٌ ينتجُهُ الجهازُ العصبيُّ. (93)

البربخ Epididymis الأنبوبُ الطويلُ الملتفُّ الموجودُ على سطحِ الخصيةِ، وفيهِ تنضجُ الحيواناتُ المنويّةُ. (108)

برعمُ التذوقِ Taste bud تجمُّعٌ من نهاياتٍ عصبيّةٍ حسيّةٍ، بيضويُّ الشكلِ، يوجدُ على اللسانِ، وفي سقفِ الحلقِ، والحَنْجَرةِ. (81)

البروجسترونُ Progesterone هرمونٌ ستيرويديٌّ يفرزُهُ الجسمُ الأصفرُ في المبيضِ. وهو ينبِّهُ تغيُّراتٍ في الرحمِ لتنغرسَ فيهِ بويضةٌ مخصّبةٌ، كما تنتجُهُ المشيمةُ أثناءَ الحملِ. (97)

البروستاكلاندين Prostaglandin نوعٌ من الهرمون، يصنّعُ في أنسجةِ الجسمِ ويعملُ في موقعِ إفرازِهِ. والبروستاكلانديناتُ تظهرُ آثارُها في مجالاتٍ متنوّعةٍ، مثل اتّساعِ الأوعيةِ الدمويّةِ، وانقباضِ العضلاتِ الملساءِ وانبساطِها، وتنظيمِ وظيفةِ الكلى. (93)

بزلُ السائلِ الرهليِّ Amniocentesis إجراءٌ يُستخدَمُ في تشخيصِ الجنينِ بفحصِ سائلٍ رهليٍّ من رحمِ المرأةِ الحاملِ. (175)

بصمةُ DNA fingerprint DNA نمطُ الخطوطِ الذي ينتجُ عندما تُميِّزُ عيّنةُ DNA مشعّةٌ لفردٍ وتعرَّضُ للأشعةِ السينيةِ بعد تقطيعِها وتضاعفِها وفرزِها. (185)

البطينُ Ventricle إحدى الغرفتيْنِ العضليّتيْنِ الكبيرتيْنِ اللّتينِ تضخّانِ الدمَ إلى خارجِ القلبِ. (25)

البلازما Plasma المكوِّنُ السائلُ من مكوِّناتِ الدمِ. (32)

البلازميدُ Plasmid جزيءُ DNA حلقيٌّ يوجدُ عادةً في بكتيريا ويستطيعُ أن يتضاعفَ بصورةٍ مستقلّةٍ عن الكروموسومِ الرئيسِ. (192)

البلعميةُ الكبيرةُ Macrophage خليّةٌ في الجهازِ المناعيِّ تحيطُ بمسبّباتِ المرضِ وموادَّ أخرى. (50)

بناءُ البروتينِ Protein synthesis تكوينُ البروتينِ باستعمالِ التعليماتِ التي احتواها DNA وحَمَلَها mRNA. (154)

البلعومُ Pharynx هو الممرُّ من الفمِ إلى الحنجرةِ والمريءِ. (38)

البيريميدينُ Pyrimidine قاعدةٌ نيتروجينيّةٌ ذاتُ تركيبٍ أحاديِّ الحلقةِ؛ وهو واحدٌ من نوعينِ عامَّيْنِ من قواعدَ نيتروجينيّةٍ وُجِدَ في DNA وRNA، هما سايتوسينٌ، وثايمينٌ أو يوراسيلٌ. (148)

البيورينُ Purine قاعدةٌ نيتروجينيةٌ ذاتُ تركيبٍ ثنائيِّ الحلقةِ؛ وهو واحدٌ من نوعينِ عامّينِ من القواعدِ النيتروجينيّةِ وُجِدَ في DNA وRNA، هما الأدنينُ والجوانينُ. (148)

ت

التجويفُ البطنيُّ Abdominal cavity القسمُ المجوّفُ من الجسمِ والموجودُ تحتَ الحجابِ الحاجزِ وفوقَ الحوضِ. هو يحتوي على أعضاءِ الهضمِ والإخراجِ والتكاثرِ. (8)

تجويفُ الجمجمةِ Cranial cavity منطقةٌ في الجمجمةِ يستقرُّ فيها الدماغُ. (8)

التجويفُ الحوضيُّ Pelvic cavity القسمُ المجوَّفُ من الجسمِ الموجودُ تحت التجويفِ البطنيِّ، وهو يحتوي على أعضاءِ الجهازِ التناسليِّ وجهازِ الإخراجِ. (8)

التجويفُ الصدريُّ Thoracic cavity هو التجويفُ الواقعُ بين العنقِ والبطنِ من جسمِ الإنسانِ، وهو يحتوي على القلبِ والرئتينِ. (8)

التجويفُ الفقاريُّ Spinal cavity القسمُ الذي يحتوي على الحبلِ الشوكيِّ. (8)

تحتُ المهادِ Hypothalamus المنطقةُ الدماغيَّةُ التي تنظِّمُ أنشطةَ الجهازِ العصبيِّ وأنشطةَ جهازِ الغددِ الصمّاءِ، وهي تتحكّمُ في العديدِ من أنشطةِ الجسمِ المتعلّقةِ بالاتزانِ الداخليِّ. (74، 94)

التحمُّلُ Tolerance حالةٌ من الإدمانِ على عقارٍ تبرزُ معها الحاجةُ إلى كمّيّاتٍ أكبر من العقارِ للوصولِ إلى التأثيراتِ المرغوبةِ. (83)

التحوُّلُ Transformation انتقالُ المادّةِ الوراثيّةِ على شكلِ أجزاءِ DNA من خليّةٍ إلى أخرى أو من كائنٍ حيٍّ إلى آخرَ. (144)

الترجمةُ Translation خطوةٌ في عمليةِ بناءِ البروتيناتِ تحدثُ في الرايبوسوماتِ ويتمُّ فيها استخدامُ الكودوناتِ في جزيئاتِ RNA الرسولِ لتحديدِ تتابعِ الأحماضِ الأمينيّةِ في سلسلةِ الببتيدِ. (154)

تزاوجٌ أحاديُّ التهجينِ Monohybrid cross تزاوجٌ بين أفرادٍ يشتملُ على زوجٍ واحدٍ من السماتِ المتضادَّةِ. (134)

تزاوجٌ ثنائيُّ التهجينِ Dihybrid cross تزاوجٌ بين أفرادٍ يشتملُ على زوجَيْنِ من السماتِ المتضادَّةِ. (137)

التستسترون Testosterone هرمونٌ ينظِّمُ الخصائصَ الجنسيّةَ الذكريّةَ، وإنتاجَ الحيواناتِ المنويَّةِ. (97)

التشابكُ العصبيُّ Synapse الفاصلُ حيث تلتقي نهايةُ المحورِ مع أطرافٍ زائدةٍ شجيريّةٍ، أو مع خليّةٍ عصبيّةٍ أخرى، أو مع خليّةٍ أخرى. (67)

تصلُّب الشرايينِ Atherosclerosis مرضٌ يتّصفُ بتراكمِ موادَّ دهنيَّةٍ في الجدرانِ الداخليّةِ للشرايينِ. (31)

تضاعفُ DNA replication DNA الآليّةُ التي يتضاعفُ فيها جزيءُ DNA. (150)

التضاعفُ نصفُ المحافظِ Semi ـ conservative replication في كلِّ حلزونِ DNA مزدوجٍ ناتجٍ عن التضاعفِ، تكونُ سلسلةٌ واحدةٌ مأخوذةً من الجزيءِ الأصليِّ، وتكونُ السلسلةُ الأخرى جديدةً. (150)

التطعيمُ Vaccination إعطاءُ الناسِ أو الحيواناتِ كائناتٍ حيّةً دقيقةً للمعالَجَةِ، أو مادّةً من مسبّبِ مرضٍ لتوفيرِ استجابةٍ مناعيّةٍ لديهم. (56)

تعبُ العضلةِ Muscle fatigue عدمُ قدرةِ العضلةِ على القيامِ بوظيفةِ التقلُّصِ. (20)

التغذيةُ الراجعةُ الإيجابيّةُ Positive feedback إطلاقُ هرمونٍ أوّليٍّ ينبِّهُ إطلاقَ هرموناتٍ أخرى، أو موادَّ أخرى تنبّهُ بدورِها إطلاقًا مستمرًّا لهرمونٍ أوّليٍّ. (102)

التغذيةُ الراجعةُ السلبيّةُ Negative feedback آليّةُ اتّزانٍ داخليٍّ تثبِّطُ فيها خطوةٌ في سلسلةِ أحداثٍ الخطوةَ الأوّليّةَ من هذه السلسلةِ. (101)

التفلُّجُ Cleavage في التطوُّرِ الأحيائيِّ، سلسلةٌ من الانقساماتِ الخلويّةِ تحدثُ مباشرةً بعدَ إخصابِ البويضةِ. (114)

تكوُّنُ العظامِ Ossification العمليّةُ التي يتحوّلُ فيها الغضروفُ إلى عظمٍ. (12)

التلقيحُ Pollination انتقالُ حبوبِ اللَّقاحِ من التراكيبِ التكاثريّةِ الذكريّةِ (المتوكِ) إلى رأسِ التركيبِ التكاثريِّ الأنثويِّ (الميسمِ) للزهرةِ في نباتاتِ مغطّاةِ البذورِ، أو إلى بويضةٍ في نباتاتِ معرّاةِ البذورِ. (126)

التلقيحُ الاختباريُّ Testcross تزاوجٌ بينَ فردٍ مجهولِ الطرازِ الجينيِّ لصفةٍ سائدةٍ وفردٍ متنحٍّ نقيٍّ بهدفِ تحديدِ الطرازِ الجينيِّ المجهولِ. (135)

التلقيحُ الخلطيُّ Cross ـ pollination عمليّةٌ تكاثريّةٌ تنتقلُ فيها حبوبُ اللَّقاحِ من متوكِ نباتٍ إلى ميسمِ نباتٍ آخرَ. (126)

التلقيحُ الذاتيُّ Self ـ pollination نقلُ حبوبِ اللقاحِ من متوكٍ إلى ميسمِ الزهرةِ نفسِها أو إلى ميسمِ زهرةٍ أخرى من النباتِ نفسِهِ. (126)

التنفُّسُ الخارجيُّ External respiration تبادلُ الغازاتِ بين الجوِّ الخارجيِّ والرئتين. (38)

التنفُّسُ الداخليُّ Internal respiration تبادلُ الغازاتِ بين الدمِ وخلايا الجسمِ. (38)

التيلوميرُ Telomere تتابعاتُ قواعدَ نيتروجينيّةٍ في DNA متكرِّرةٌ توجدُ عند أطرافِ الكروموسوماتِ، وتقصرُ مع كلِّ انقسامٍ خلويٍّ. (196)

ج

جذعُ الدماغِ Brain stem قسمٌ من الدماغِ على شكلِ سويقةٍ يربطُ نصفَيِ الكرةِ المخّيّةِ بالحبلِ الشوكيِّ ويحافظُ على الأنشطةِ الضروريّةِ للجسمِ، كالتنفُّسِ ودورانِ الدمِ. (74)

الجسمُ الأصفرُ Corpus luteum التركيبُ الذي يتكوَّنُ من الحوصلةِ المنفجرةِ في المبيضِ بعد الإباضةِ، وهو يحرِّرُ هرموناتٍ. (113)

الجسمُ المضادُّ Antibody بروتينٌ يستجيبُ لمولّدٍ ضدٍّ معيّنٍ، أو يبطلُ عملَ الموادِّ السامّةِ أو يدمِّرُها. (33، 54)

الجهازُ التنفّسيُّ Respiratory system مجموعةُ أعضاءٍ وظيفتُها الأولى تلقّي الأكسجينِ وطردُ ثاني أكسيدِ الكربونِ. يشتملُ هذا الجهازُ على الرئتينِ، والحنجرةِ، والقنواتِ التي تقودُ إلى الرئتينِ. (38)

الجهازُ العصبيُّ Nervous system مجموعةُ التراكيبِ التي تتحكّمُ في الأفعالِ التي يقومُ بها الجسمُ، وفي ردّاتِ الفعلِ استجابةً للمؤثّراتِ الصادرةِ عن المحيطِ البيئيِّ. ويتكوّنُ هذا الجهازُ من بلايينِ الخلايا العصبيّةِ المتخصِّصةِ. (67)

الجهازُ العصبيُّ الجسميُّ Somatic nervous system قسمٌ من التركيبِ العصبيِّ يوفِّرُ للجلدِ وللهيكلِ العظميِّ والعضلاتِ في الجسمِ ترابطًا عصبيًّا لا يوفِّرُهُ للأحشاءِ والأوعيةِ الدمويّةِ والغددِ. (76)

الجهازُ العصبيُّ الذاتيُّ Autonomic nervous system قسمٌ من الجهازِ العصبيِّ يتحكّمُ في الأنشطةِ اللاإراديةِ. (77)

الجهازُ العصبيُّ الطرفيُّ Peripheral nervous system أقسامُ الجهازِ العصبيِّ مستثنًى منها الدماغُ والحبلُ الشوكيُّ (الجهازُ العصبيُّ المركزيُّ)، وهو يشتملُ على الأعصابِ الدماغيّةِ، والأعصابِ الشوكيّةِ. (72)

الجهازُ العصبيُّ المركزيُّ Central nervous system الدماغُ والحبلُ الشوكيُّ، ووظيفتُهُ الرئيسةُ هي التحكُّمُ في تدفُّقِ السيّالاتِ في الجسمِ. (72)

جهازُ الغددِ الصمّاءِ Endocrine system مجموعةٌ من الأعضاءِ والخلايا تفرزُ هرموناتٍ تنظِّمُ النموَّ والتطوّرَ والاتّزانَ الداخليَّ. وهي تشملُ الغدّةَ النخاميّةَ، والغدّةَ الدرقيّةَ، وجاراتِ الدرقيّةِ، والغددَ الكظريّةَ، وتحتَ المهادِ، والغدَّةَ الصنوبرية، والغددَ التناسليّةَ. (91)

الجهازُ اللمفيُّ Lymphatic system مجموعةُ أعضاءٍ وظيفتُها الأوّليّةُ جمعُ السائلِ خارجَ الخلايا وإعادتُهُ إلى الدمِ. تشتملُ الأعضاءُ في هذا الجهازِ على العقدِ اللمفيّةِ والأوعيةِ اللمفيّةِ. (25)

جهازُ المناعةِ Immune system الخلايا والأنسجةُ التي تتعرّفُ الموادَّ الغريبةَ في الجسمِ وتهاجمُها. (51)

الجهازُ الوعائيُّ القلبيُّ Cardiovascular system مجموعةُ أعضاءٍ تنقلُ الدمَ إلى جميعِ أنحاءِ الجسمِ. والأعضاءُ في هذا الجهازِ تشتملُ على القلبِ والشرايينِ والأوردةِ. (25)

جهدُ الراحةِ Resting potential جهدُ الكهرباءِ عبر الغشاءِ الخلويِّ لخليّةٍ عصبيّةٍ أو لخليّةٍ عضليّةٍ عندما لا تكونُ الخليّةُ ناشطةً. (69)

جهدُ الغشاءِ Membrane potential الفرقُ في جهدِ الكهرباءِ بين جهتَيْ الغشاءِ الخلويِّ. (68)

جهدُ الفعلِ Action potential تغييرٌ مفاجئٌ في قطبيَّةِ غشاءِ خليّةٍ عصبيّةٍ، أو خليّةٍ غدّيةٍ، أو ليفةٍ عضليّةٍ، تسهمُ في نقلِ السيّالاتِ الكهربائيّةِ. (67)

جيلُ الآباءِ P Generation الفردانِ الأوّلانِ اللذانِ يتزاوجانِ تزاوجًا وراثيًّا. (127)

الجيلُ الأوّلُ F_1 F_1 Generation الجيلُ الأولُ للأبناءِ الناتجُ من تزاوجٍ تجريبيٍّ لكائنَيْنِ حيَّيْنِ. (127)

الجيلُ الثاني F_2 F_2 Generation الجيلُ الثاني للأبناءِ الناتجُ من تزاوجٍ تجريبيٍّ لكائنَيْنِ حيَّيْنِ؛ الأبناءُ للجيلِ الأوّلِ. (127)

الجينُ المرتبطُ Linked gene واحدٌ من زوجَيِ الجيناتِ التي تُورَّثُ بصورةٍ مترافقةٍ. (168)

الجينومُ Genome المادّةُ الوراثيّةُ الكاملةُ التي يحتوي عليها جسمُ الفردِ. (160)

ح

الحاملُ Carrier في علمِ الوراثةِ، الفردُ الذي يحملُ أليلاً جسميًّا واحدًا متنحّيًا يُظهرُ المرضَ إذا كان نقيًّا. (172)

الحبلُ السرّيُّ Umbilical cord التركيبُ الذي يربطُ الجنينَ بالمشيمةِ، وتمرُّ عبرهُ الأوعيةُ الدمويّةُ. (117)

الحجابُ الحاجزُ Diaphragm عضلةٌ على شكلِ قُبَّةٍ ترتبطُ بالأضلاعِ السفلى وتعملُ كعضلةٍ رئيسةٍ في التنفُّسِ. (8، 42)

الحذفُ Deletion فقدُ جزءٍ DNA من كروموسومٍ. (169)

الحساسيّةُ Allergy استجابةٌ ملموسةٌ لمولِّدٍ ضدٍّ قد يكونُ مادّةً شائعةً وهي استجابةٌ ضئيلةٌ عندَ عامّةِ الناسِ، أو لا يكونُ استجابة . (58)

الحلَمَةُ Papilla أحدُ النتوءاتِ النسيجيّةِ على اللسانِ. وبين الحلَماتِ تنطمرُ براعمُ التذوُّقِ. (81)

الحمضُ النوويُّ الرايبوزيُّ Ribonucleic acid عديدُ وحداتٍ بنائيّةٍ يوجدُ في جميعِ الخلايا الحيّةِ، ويؤدّي دورًا في بناءِ البروتيناتِ. (154)

الحمْلُ Gestation أو Pregnancy هو عند الثدّييات حملُ الجنينِ منذُ الإخصابِ حتى الولادةِ. (112)

الحَنْجَرَةُ Larynx المنطقةُ الحلْقيَّةُ التي تحتوي على الأوتارِ الصوتيَّةِ وتنتجُ الصوتَ. (38)

الحوصلةُ Follicle فجوةٌ أو كيسٌ صغيرٌ ضيِّقٌ يوجدُ في عضوٍ أو نسيجٍ، ويوجدُ كذلك في المبايضِ التي تحتوي على البيوضِ وهي تتطوّرُ. (112)

الحوصلةُ البلاستيوليَةُ Blastocyst إحدى مراحلِ تطوّرِ جنينِ الثدييّاتِ. (115)

الحويصلةُ المنويّةُ Seminal vesicle أحدُ التركيبينِ الغدّيّيْنِ في ذكورِ الفقرياتِ التي تخزنُ وتفرزُ سائلاً يشكلُ قسمًا من السائلِ المنويِّ. (109)

الحويصلةُ الهوائيَّةُ Alveolus خلايا هوائيّةٌ في الرئتينِ عندها يتمُّ تبادلُ الأكسجينِ وثاني أكسيدِ الكربونِ. (39)

خ

الخريطةُ الكروموسوميّةُ Chromosome map رسمٌ لمواقعِ جيناتٍ على كروموسومٍ. (178)

الخُصَى Testes الأعضاءُ التكاثريَّةُ الذكريَّةُ الأوّليّةُ التي تُنتِجُ الحيواناتِ المنويّةَ والتستسترونَ. (113)

الخطُّ Z، Z line، الخطُّ الذي بين قطعتَيْنِ عضليَّتَينِ لليفةٍ عضليّةٍ في خلايا عضلةٍ مخطّطةٍ حيثُ ترتكزُ خيوطُ الأكتينِ. (17)

الخلاصُ Afterbirth بقايا المشيمةِ والأغشيةِ التي يطردُها جسم الأمِّ بعد الولادةِ. (118)

الخليّةُ B، B cell، خليّةُ دمٍ بيضاءُ لمفيّةٌ تُنتَجُ في العظمِ وتَصنعُ الأجسامَ المضادَّة. (52)

الخليّةُ T، T cell، خليّةٌ تنضجُ في الغدّةِ الزعتريّةِ وتسهمُ في استجاباتٍ مناعيّةٍ خلويّةٍ. (52)

الخليّةُ البلازميّةُ Plasma cell نوعٌ من خلايا الدمِ البيضاءِ يُنتِجُ الأجسامَ المضادَّةَ. (54)

الخليّةُ البلعميّةُ Phagocyte خليّةٌ تبتلعُ وتحطِّمُ (تحلِّل) المادّةَ الغريبةَ أو الكائناتِ الحيّةَ الدقيقةَ. (33، 49)

خليّةُ الدمِ البيضاءُ White blood cell (Leukocyte) نوعٌ من خلايا الدمِ، يحطِّمُ البكتيريا والفيروساتِ والبروتيناتِ السامّةَ، ويساعدُ الجسمَ على اكتسابِ المناعاتِ. (33)

خليّةُ الدمِ الحمراءُ Red blood cell (erythrocyte) خليّةٌ قرصيَّةُ الشكلِ تفتقرُ إلى النواةِ، وتحتوي على الهيموجلوبينِ، وتنقلُ الأكسجينَ في الجهازِ الدوري. (32)

الخليّةُ الذاكرةُ Memory cell الخليّةُ B أو الخليّةُ T، في الجهازِ المناعيِّ لا تستجيبُ في المرّةِ الأولى عندما تلتقي مولّدَ ضدٍّ أو خليّةً مقتحِمةً، لكنّها تتعرّفُ مولّدَ الضدِّ أو الخليّةَ المقتحِمةَ خلال الإصاباتِ اللاحقةِ وتهاجمُ ما تلتقيهِ منهما. (55)

الخليّةُ Tالسامّةُ Cytotoxic T cell نوعٌ من الخلايا T، تتعرّفُ الخلايا المصابةَ والخلايا السرطانيّةَ وتدمِّرُها. (53)

الخليّةُ العصبيَّةُ Neuron خليّةٌ عصبيّةٌ تكوِّنُ السيّالاتِ الكهربائيّةَ وتنقلُها. (67،5)

الخليّةُ العصبيَّةُ البينيّةُ Interneuron خليّةٌ عصبيّةٌ واقعةٌ بين خليّتين عصبيّتينِ. (75)

الخليّةُ العصبيّةُ الحركيّةُ Motor neuron خليّةٌ عصبيّةٌ تنقلُ السيّالاتِ العصبيّةَ من الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ إلى العضلاتِ أو الغددِ. (75)

الخليّةُ العصويّةُ Rod أحدُ نوعَي الخلايا التي تتعرَّفُ الضوءَ في العينِ. وتتعرَّفُ الخلايا العصويةُ الضوءَ الخافتَ، ولها دورٌ في رؤيةِ الأشياءِ غيرِ الملوّنةِ والرؤيةِ في الظلامِ. (80)

الخليّةُ القاتلة الطبيعيَّةُ Natural killer cell نوعٌ من خلايا الدمِ البيضاءِ يوجدُ عند الأفرادِ الذين لم يكتسبوا المناعةَ. وهذه الخلايا تقتلُ مجموعةً متنوِّعةً من الخلايا. (50)

الخليّةُ اللمفيّةُ Lymphocyte نوعٌ من خلايا الدمِ البيضاءِ، يوجدُ في نوعينِ أوّليين: الخلايا B والخلايا T. (51)

الخليّةُ المخروطيّةُ Cone عند الحيوان هي مستقبلٌ ضوئيٌّ في الشبكيّةِ تميِّزُ الألوانَ، وهي حسّاسةٌ جدًّا للضوءِ الساطعِ. (80)

الخليّةُ المتعادلةُ Neutrophil خليّةُ دمٍ بيضاءُ كبيرةٌ تحتوي على نواةٍ ذاتِ فصوصٍ وحبيباتٍ سيتوبلازميّةٍ. (49)

الخليّةُ الهدفُ Target cell الخليّةُ التي يتّجهُ إليها الهرمونُ لإنتاجِ تأثيرٍ معيّنٍ. (92)

الخليّةُ T المساعدةُ Helper T cell خليّةُ دمٍ بيضاءُ لمفيّةٌ ضروريّةٌ لإنتاجِ تركيزٍ طبيعيٍّ من الأجسامِ المضادّةِ من قبلِ الخلايا B. (53)

الخملاتُ الكوريونيّةُ Chorionic villi نتوءاتٌ للكوريون تشبهُ الأصابعَ، وتمتدُّ إلى بطانةِ الرحمِ. (115)

د

درجةُ تركيزِ الكحولِ في الدمِ Blood Alcohol Concentration قياسُ كمّيّةِ الكحولِ في دمِ شخصٍ معيّنٍ (تختصرُ بـ BAC). (85)

الدهليزُ Vestibule قسمٌ من الأذنِ الداخليّةِ يؤدّي دورًا في التوازنِ. (80)

الدورةُ التاجيّةُ Coronary circulation تحرُّكُ الدمِ في القلبِ. (31)

الدورةُ الجهازيّةُ Systemic circulation تحرُّكُ الدمِ من القلبِ إلى جميعِ أقسامِ الجسمِ، وعودتُهُ من ثَمَّ إلى القلبِ. (30)

دورةُ الحيضِ Menstrual cycle الدورةُ التكاثريّةُ الأنثويّةُ التي تتّصفُ بتغيُّرٍ شهريٍّ في بطانةِ الرحمِ وبالمحيضِ. (112)

الدورةُ الرئويّةُ Pulmonary circulation تدفُّقُ الدمِ من البطينِ الأيمنِ للقلبِ إلى الرئتينِ ثم إلى الأذينِ الأيسرِ للقلبِ عبر شبكةٍ من الشرايينِ الرئويَّةِ والشعيراتِ الدمويّةِ والأوردةِ. (29)

دورةُ المبيضِ Ovarian cycle سلسلةٌ من أحداثٍ تسبِّبُها الهرموناتُ، وتحفِّزُ خلالَها المبايضُ بيضةً ناضجةً وتحرِّرُها. (112)

ر

الرئةُ Lung التركيبُ المركزيُّ للجهازِ التنفُّسيِّ، ومنهُ يتمُّ إبدالُ الأكسجينِ الموجودِ في الهواءِ بثاني أكسيدِ الكربونِ الموجودِ في الدمِ. (38)

الرايبوزُ Ribose سكَّرٌ خماسيُّ الكربونِ يوجدُ في RNA. (155)

الرايبوزُ منقوصُ الأكسجين Deoxyribose سكَّرٌ خماسيُّ الكربونِ مكوِّنٌ لنيوكليوتيداتِ DNA. (153)

الرباطُ Ligament نوعٌ النسيجِ الضامِّ الذي يبقي عظامَ المفصلِ في أماكنِها. (14)

RNA الرايبوسوميُّ Ribosomal RNA (rRNA) جزيءُ RNA أحاديُّ السلسلةِ الذي يدخلُ في تركيبِ الرايبوسوم. (155)

الربْوُ Asthma خللٌ رئويٌّ من أعراضِهِ تنفُّسٌ عسيرٌ يسبِّبُهُ ضيقٌ في الشعبِ الهوائيّةِ. ويترافقُ هذا مع قصرِ النفسِ والشهقاتِ والسعالِ. وتسبّبُهُ ردّةُ فعلٍ على موادَّ مهيِّجةٍ معيّنةٍ. (58)

الرَّحِمُ Uterus العضوُ العضليُّ الأجوفُ في الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ، وفي بطانتِهِ تنطمرُ البيضةُ المخصَّبةُ، وفيهِ ينمو الجنينُ ويتطوّرُ. (110)

RNA الرسولُ Messenger RNA جزيءُ RNA أحاديُّ السلسلةِ، الذي يحملُ التعليماتِ لبناءِ البروتينِ. (155)

الرسولُ الثاني Second messenger جزيءٌ يتمُّ إنتاجُهُ عندما ترتبطُ مادّةٌ معيّنةٌ بمستقبلٍ على سطحِ خليّةٍ، فينتجُ عن ذلك تغيُّرٌ في الوظيفةِ الخلويّةِ. (92)

ز

زائدةٌ شجيريَّةٌ Dendrite امتدادٌ سيتوبلازميٌّ لخليّةٍ عصبيّةٍ يستقبلُ التنبيهَ. (67)

الزفيرُ Expiration العمليَّةُ التنفُّسيَّةُ التي يتمُّ خلالَها إخراجُ الهواءِ من الرئتيْنِ إلى الخارجِ. (42)

زوجُ القواعدِ المتمِّمةِ Complementary base pair قواعدُ النيوكليوتيداتِ في سلسلةٍ واحدةٍ من DNA أو RNA، وهي التي تزدوجُ بالقواعدِ في السلسلةِ الأخرى؛ يزدوجُ أدينينٌ مع ثايمينَ أو يوراسيل، ويزدوجُ جوانينٌ مع سايتوسين. (148)

س

السائدُ Dominant صفةُ الأليلِ الذي يتمُّ التعبيرُ عنه بالشكلِ متى حُمِلَ من قِبَلٍ واحدٍ فقط من زوجٍ من الكروموسوماتِ المتماثلةِ. (129)

السائلُ المفصليُّ Synovial fluid السائلُ الشفّافُ الذي يسهِّلُ حركةَ المفاصلِ. (14)

السائلُ المنويُّ Semen السائلُ الذي يحتوي على الحيواناتِ المنويّةِ وعلى السوائلِ المختلفةِ التي ينتجُها الجهازُ التناسليُّ الذكريُّ. (109)

سجلُ النَّسبِ Pedigree مخطَّطٌ يُظهِرُ سمةً وراثيّةً على مدى عدّةِ أجيالٍ لعائلةٍ. (171)

السمةُ Trait شكلٌ من أشكالِ الصفةِ محدَّدٌ وراثيًّا. (125)

السمةُ المتأثّرةُ بالجنس **Sex ـ influenced trait** سمةٌ جسميّةٌ تتأثّرُ بوجودِ هرموناتِ الجنسِ الذكريّةِ والأنثويّةِ. **(174)**

السمةُ المرتبطةُ بالجنس **Sex ـ linked trait** سمةٌ يحدِّدُها جينٌ يقعُ على أيٍّ من الكروموسومين **X** أو **Y** عند الإنسانِ. **(167)**

السمحاقُ **Periosteum** غشاءٌ ثنائيُّ الطبقاتِ أبيضُ اللونِ، يغطّي كاملَ سطحِ العظمِ ما عدا أسطحَ المفاصلِ، وهو مجهَّزٌ بألياف عصبيّةٍ وأوعيةٍ دمويّةٍ. **(10)**

سنُّ البلوغِ **Puberty** مرحلةٌ من حياةِ الإنسانِ تبدأُ عند الإناثِ حين يبدأُ المحيضُ، وتبدأُ عند الذكورِ حين يبدأُ إنتاجُ الحيواناتِ المنويّةِ وتظهرُ الخصائصُ الجنسيّةُ الثانويّةُ. **(97)**

سنُّ اليأسِ **Menopause** السنُّ التي تتوقّفُ عندها دورةُ الحيضِ عند المرأةِ، وهي ما بين 45 و 55 سنةً. **(113)**

السيادةُ التامّةُ **Complete dominance** علاقةٌ يكونُ فيها أليلٌ واحدٌ سائدًا سيادةً تامّةً على أليلٍ آخرَ. **(136)**

السيادةُ غيرُ التامّةِ **Incomplete dominance** حالةٌ معها تكونُ سمةُ فردٍ ما وسطيّةً بين الطرازين المظهريَّين لأبوَي الفردِ، لأن الأليلَ السائدَ غيرُ قادرٍ على التعبيرِ عن نفسِهِ كاملاً. **(136، 174)**

السيادةُ المشتركةُ **Codominance** حالةٌ يتمُّ معها التعبيرُ عن أليلَي الجينِ معًا. **(177، 173)**

ش

الشبكيّةُ **Retina** الطبقةُ الداخليّةُ من العينِ، وهي حسّاسةٌ للضوءِ، وتستقبلُ الصورَ التي تكوِّنُها العدسةُ، ثم ترسلُها إلى الدماغِ عبرَ العصبِ البصريِّ. **(80)**

الشريانُ **Artery** وعاءٌ دمويٌّ ينقلُ الدمَ بعيدًا عن القلبِ إلى أعضاءِ الجسمِ. **(28)**

الشعبةُ الهوائيّةُ **Bronchus** كلٌّ من الأنبوبين اللذين يربطانِ الرئتين بالقصبةِ الهوائيّةِ. **(39)**

الشُّعَيْبةُ الهوائيّةُ **Bronchiole** ممرٌّ هوائيٌّ صغيرٌ يتفرّعُ من الشُّعبِ الهوائيَّةِ داخلَ الرئتين. **(39)**

الشعيرةُ الدمويّةُ **Blood capillary** وعاءٌ دمويٌّ دقيقٌ يتمُّ عبرَه تبادلُ الموادِّ بين الدمِ وخلايا الأنسجةِ. **(29)**

الشهيقُ **Inspiration** عمليّةُ دخولِ الهواءِ من خارجِ الجسمِ إلى داخلِ الرئتين. **(41)**

شوكةُ التضاعفِ **Replication fork** النقطةُ ذاتُ الشكلِ Y التي تَنتجُ عندما تنفصلُ سلسلتا الحلزونِ المزدوجِ لـ DNA لتمكِّنَ جزيءَ DNA من أن يتضاعفَ. **(150)**

الشيفرةُ الوراثيّةُ **Genetic code** القانونُ الذي يصفُ كيفيّةَ تتابعِ النيوكليوتيداتِ؛ تتمُّ قراءتُها على صورةِ مجموعاتٍ من ثلاثةِ نيوكليوتيداتٍ متتاليةٍ (ثلاثيّةٍ) تحدِّدُ حمضًا أمينيًّا معيّنًا؛ تحدِّدُ تتابعَ الأحماضِ الأمينيّةِ في بروتين. **(157)**

ص

الصفةُ المركّبةُ **Complex character** صفةٌ على مثالِ لونِ البشرةِ تتأثّرُ، إلى حدٍّ بعيدٍ، بالبيئةِ والجيناتِ معًا. **(173)**

الصفيحةُ الدمويّةُ **Platelet** قطعةٌ من خليّةٍ ضروريّةٌ لتشكيلِ جلطةٍ دمويّةٍ. **(33)**

الصمامُ **Valve** ثَنيَّةٌ من الأغشيةِ تتحكَّمُ في تدفُّقِ سائلٍ معيّنٍ. **(25)**

ض

ضغطُ الدمِ **Blood pressure** القوّةُ التي يضغطُ بها الدمُ على جدرانِ الشرايين. **(28)**

ط

الطحالُ **Spleen** أكبرُ عضوٍ لمفيٍّ في الجسمِ، يعملُ كمخزنِ دمٍ، ويفكِّكُ خلايا الدمِ الحمراءَ القديمةَ، وينتجُ الخلايا اللمفيّةَ. **(52)**

الطرازُ الجينيُّ **Genotype** التركيبُ الجينيُّ الكاملُ لكائنٍ حيٍّ؛ مجموعةُ الجيناتِ لواحدةٍ أو أكثرَ من السماتِ المحدَّدةِ. **(132)**

الطرازُ المظهريُّ **Phenotype** المظهرُ الخارجيُّ للكائنِ الحيِّ أو صفةٌ أخرى يمكنُ تبيُّنُها، ناتجةٌ عن الطرازِ الجينيِّ للكائنِ الحيِّ والبيئةِ. **(132)**

الطفرةُ **Mutation** التغيُّرُ في تتابعِ النيوكليوتيداتِ لجينٍ أو جزيءِ DNA. **(152)**

طفرةُ الإزاحةِ **Frameshift mutation** طفرةٌ، مثلُ إضافةِ نيوكليوتيدٍ في تتابعٍ أو حذفِهِ، ينتجُ عنها قراءةٌ غيرُ صحيحةٍ للشيفرةِ أثناءَ الترجمةِ بسببِ تغيُّرٍ في إطارِ القراءةِ. **(170)**

طفرةُ الإضافةِ **Insertion mutation** طفرةٌ يتمُّ بها إضافةُ نيوكليوتيدٍ واحدٍ أو أكثرَ إلى جينٍ. **(170)**

طفرةُ الخليّةِ التناسليّةِ **Germ ـ cell mutation** طفرةٌ تحدثُ في أمشاجِ الكائنِ الحيِّ. **(169)**

طفرةُ الخليّةِ الجسميّةِ **Somatic ـ cell mutation** طفرةٌ تحدثُ في الخلايا الجسميّةِ. **(169)**

الطفرةُ القاتلةُ **Lethal mutation** طفرةٌ كروموسوميّةٌ أو جينيّةٌ تؤثّرُ في نموِّ وتطوُّرِ الكائنِ الحيِّ بحيثُ لا يستطيعُ البقاءَ على قيدِ الحياةِ. **(169)**

الطفرةُ الموضعيّةُ **Point mutation** طفرةٌ يتمُّ بها تغييرُ قاعدةٍ نيتروجينيّةٍ أو نيوكليوتيدٍ واحدٍ في جينٍ. **(170)**

طورُ الجسمِ الأصفرِ **Luteal phase** مرحلةُ الحيضِ التي ينمو فيها الجسمُ الأصفرُ ويتطوّرُ. **(113)**

طورُ الحوصلةِ **Follicular phase** المرحلةُ التي تُكمِلُ فيها بيضةٌ غيرُ ناضجةٍ انقسامَها الأوّلَ للانشطارِ الاختزاليِّ. **(112)**

ع

العاملُ الريسيُّ Rh factor أحدُ مولِّداتِ الضدِّ لفصائلِ الدمِ، وهو موجودٌ على أسطحِ خلايا الدمِ الحمراءِ. (36)

العدسةُ Lens تركيبٌ شفّافٌ محدّبٌ في العينِ يجمِّعُ الضوءَ على الشبكيّةِ. (80)

عدمُ الانفصالِ Nondisjunction فشلُ الكروموسوماتِ المتماثلةِ في الانفصالِ أثناءَ الانقسامِ الأوّلِ للانشطارِ الاختزاليِّ أو فشلُ الكروماتيداتِ الشقيقةِ في الانفصالِ أثناءَ انقسامٍ خيطيٍّ أو الانقسامِ الثاني للانشطارِ الاختزاليِّ. (169)

العصبُ Nerve مجموعةُ أليافٍ عصبيّةٍ تنتقلُ عبرَها السيّالاتُ العصبيّةُ بين الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ وأقسامِ الجسمِ الأخرى. (75)

العضلاتُ الملساءُ Smooth muscles عضلاتٌ لاإراديةٌ موجودةٌ في القنواتِ الهضميَّةِ والأوعيةِ الدمويَّةِ والغددِ، ولا توجدُ في القلبِ. (5)

العضلاتُ الهيكليّةُ Skeletal muscles عضلاتٌ إراديَّةٌ ترتبطُ بالعظامِ وتُحرِّكُ أجزاءَ الجسمِ. (5)

العضلةُ الإراديّةُ Voluntary muscle عضلةٌ يتمُّ التحكّمُ في حركتِها إراديًّا. (15)

العضلةُ الباسطةُ Extensor العضلةُ التي تمدِّدُ مفصلاً. (19)

العضلةُ القابضةُ Flexor العضلةُ التي تحني مفصلاً. (19)

العضلةُ القلبيّةُ Cardiac muscle عضلةٌ لاإراديّةٌ، موجودةٌ في القلبِ. (5)

العضلةُ اللاإراديّةُ Involuntary muscle العضلةُ التي لا يمكنُ التحكُّمُ إراديًّا في حركتِها، مثلُ العضلةِ القلبيّةِ والعضلاتِ الملساءِ. (16)

العضوُ Organ مجموعةُ الأنسجةِ التي تنفِّذُ وظيفةً من وظائفِ الجسمِ. (7)

عضوُ الحسِّ Sense organ عضوٌ يستقبلُ المؤثّراتِ التي تنشأُ عنها الأحاسيسُ، كالبصرِ والشمِّ والسمعِ والتذوُّقِ والألمِ. (78)

العظمُ الإسفنجيُّ Spongy bone نسيجٌ عظميٌّ أقلُّ كثافةً من العظمِ، وله العديدُ من الفراغاتِ المفتوحةِ. (11)

العظمُ الكثيفُ Compact bone طبقةُ العظمِ الموجودةُ تحت السمحاقِ التي تعطي هذا العظمَ قوّتَهُ وصلابتَهُ. (10)

العقارُ Drug مادّةٌ تسبِّبُ تغييرًا في الحالةِ النفسيَّةِ أو الجسميَّةِ لكائنٍ حيٍّ. (83)

العقّارُ المؤثِّرُ نفسيًّا Psychoactive drug عقّارٌ أو دواءٌ يؤثِّرُ في تغييرِ وظائفِ الجهازِ العصبيِّ المركزيِّ. (83)

العقّارُ المثبِّطُ Depressent عقّارٌ يخفضُ النشاطَ الوظيفيَّ ويحدِثُ ارتخاءً عضليًّا. (85)

العقّارُ المنبِّهُ Stimulant عقّارٌ يزيدُ من نشاطِ الجسمِ أو قسمٍ منهُ. (84)

العقدةُ الأذينُ-بطينيَّةُ Atrioventricular node كتلةٌ من خلايا عضلةِ القلبِ تقعُ بين الأذينِ الأيمنِ والبطينِ الأيمنِ، تولِّدُ سيّالاتٍ كهربائيَّةً تسببُ انقباضَ البطينين. (27)

العقدةُ الجيبُ-أذينيَّةُ Sinoatrial node كتلةٌ من خلايا عضلةِ القلبِ تقعُ عند اتصالِ الوريدِ الأجوفِ العلويِّ بالأذينِ الأيمنِ، وهي تُنشِئُ وتنظِّمُ تقلُّصاتِ القلبِ. (27)

علمُ المحتوى البروتينيِّ Proteomics دراساتُ المحتوى البروتينيِّ لكائنٍ حيٍّ. ويتضمّنُ ذلك أنواعَ البروتيناتِ وتراكيبَها وتفاعلاتِها ووفرتَها. (192)

علمُ الوراثةِ Genetics فرعٌ من فروعِ علمِ الأحياءِ يشتملُ على الآليّاتِ التي تنتقلُ عبرَها السماتُ من الآباءِ إلى الأبناءِ. (126)

علمُ الوراثةِ الجزيئيَّةِ Molecular genetics دراسةُ تركيبِ ووظيفةِ الجيناتِ وتنظيمِها. (130)

غ

غدّةُ البروستاتِ Prostate gland غدّةٌ تسهمُ في تكوُّنِ السائلِ المنويِّ عند الذكورِ. (109)

الغدّةُ التناسليّةُ Gonad عضوٌ ينتجُ الأمشاجَ. (97)

الغدّةُ الدرقيّةُ Thyroid gland غدّةٌ صمّاءُ تقعُ عند أسفلِ العنقِ، وتنتجُ إفرازاتٍ مهمّةً بالنسبةِ إلى تنظيمِ بعضِ عمليّاتِ الأيضِ وتوازنِ الأملاحِ. (96)

الغدّةُ الزعتريّةُ Thymus الغدّةُ التي تنضجُ فيها الخلايا T. (51)

الغدّةُ الصمّاءُ Endocrine gland غدّةٌ لا قنويَّةٌ تفرزُ الهرموناتِ في الدمِ أو في السوائلِ خارجَ الخلايا. (91)

الغدّةُ القنويّةُ Exocrine gland غدّةٌ تنتقلُ إفرازاتُها في قنواتٍ. (91)

الغدّةُ الكظريَّةُ Adrenal gland فوق كلِّ كليةٍ يوجدُ غدّةٌ صمّاءُ تسمّى كظريّةً. (96)

غُدّةُ كوبر Cowper's gland كلٌّ من غدّتَي الجهازِ التناسليِّ الذكريِّ، وهما تُفرزانِ جزءًا من السائلِ المنويِّ أثناءَ القذفِ. (109)

الغدّةُ النخاميّةُ Pituitary gland غدّةٌ صمّاءُ تقعُ عند أسفلِ الدماغِ، تخزِّنُ بعضَ الهرموناتِ التي يفرزُها تحتُ المهادِ وتحرِّرُ بعضَها الآخر، كما تفرزُ الهرموناتِ التي يتحكّمُ في إفرازِها تحتُ المهادِ. (94)

الغشاءُ المخاطيُّ Mucous membrane طبقةٌ من الخلايا الطلائيّةِ، تغطّي الأسطحَ الداخليّةَ للجسمِ وتفرزُ مادةً مخاطيّةً. (48)

الغلافُ المايلينيُّ Myelin sheath طبقةٌ من مادّةٍ دهنيّةٍ تحيطُ ببعضِ محاورِ الخلايا العصبيّةِ وتعملُ كعازلٍ للكهرباءِ. (67)

ف

فتّاكٌ Virulent وصفٌ لكائناتٍ حيّةٍ دقيقةٍ تسبِّبُ المرضَ وتُعدي بقوّةٍ. (143)

فترةُ الامتناعِ Refractory period فترةٌ قصيرةٌ تأتي بعد تنبيهِ عصبٍ، ولا يستطيعُ خلالَها العصبُ أن يتنبّهَ. (70)

فحصُ الخملاتِ الكوريونيّةِ Chorionic villi sampling إجراءٌ يتمُّ عبرَهُ تحليلُ الخملاتِ الكوريونيّةِ لتشخيصِ الطرازِ الجينيِّ للجنينِ. (175)

الفصلُ الكهربائيُّ الهلاميُّ Gel electrophoresis تقنيّةٌ تُستخدَمُ لفصلِ الأحماضِ النوويّةِ أو البروتيناتِ وفقًا لأطوالِها وشحناتِها في هلامِ أجاروزٍ أو أكريلاميدٍ. (185)

الفصلُ الكهربائيُّ الهلاميُّ الثنائيُّ البعدِ Two - dimensional gel electrophoresis طريقةٌ مختبريّةٌ لفصلِ الأحماضِ الأمينيّةِ أو البروتيناتِ وفقًا لنقاطٍ متساويةِ الجهدِ الكهربائيِّ ووزنٍ جزيئيٍّ. (192)

فصيلةُ الدمِ Blood type تصنيفٌ للدمِ يعتمدُ على نوعِ مولّدِ الضدِّ الموجودِ على أسطحِ خلايا الدمِ الحمراءِ. (34)

الفعلُ المنعكسُ Reflex حركةٌ لاإراديّةٌ سريعةٌ تأتي استجابةً لتنبيهٍ ما. (76)

الفيبرينُ Fibrin بروتينٌ يشكّلُ تشابكًا خيطيًّا خلالَ تجلُّطِ الدمِ. (34)

فيروسُ فقدانِ المناعةِ عند الإنسانِ HIV الفيروسُ الذي يسبّبُ مرضَ الـ AIDS. (60)

ق

القاعدةُ النيتروجينيّةُ Nitrogenous base قاعدةٌ عضويّةٌ تحتوي على نيتروجينٍ، مثلِ بيورينٍ أو بيريميدينٍ؛ وحدةٌ بنائيّةٌ للنيوكليوتيداتِ في DNA وRNA. (147)

قانونُ الانعزالِ Law of segregation العواملُ الوراثيةُ المزدوجةُ ينفصلُ بعضُها عن بعضٍ أثناءَ تكوينِ الأمشاجِ. (129)

قانونُ التوزيعِ الحرِّ Law of independent assortment العواملُ الوراثيةُ ينفصلُ بعضُها عن بعضٍ بصورةٍ مستقلّةٍ أثناءَ تكوينِ الأمشاجِ. (130)

القرنيّةُ Cornea غشاءٌ شفّافٌ يشكّلُ القسمَ الأماميَّ من مقلةِ العينِ. (80)

القزحيّةُ Iris القسمُ الدائريُّ الملوّنُ من العينِ. (80)

قشرةُ المخِّ Cerebral cortex القسمُ الرماديُّ الخارجيُّ من المخِّ، وهو يتحكّمُ في الوظائفِ العقلانيّةِ العاليةِ، والحركةِ العامّةِ، ووظائفِ الأعضاءِ، والتفسيرِ، وردّاتِ الفعلِ السلوكيّةِ. (73)

القصبةُ الهوائيّةُ Trachea الأنبوبُ الذي يربطُ الحَنْجَرةَ بالرئتين عند الفقاريات. (39)

القضيبُ Penis العضوُ الذكريُّ الذي ينقلُ الحيواناتِ المنويّةَ إلى القناةِ التناسليّةِ الأنثويّةِ أثناءَ الجماعِ، ووظيفةُ القضيبِ الثانيةُ إخراجُ البولِ من الجسمِ. (109)

القطعةُ العضليّةُ Sarcomere الوحدةُ الأساسيّةُ للانقباضِ في العضلةِ الهيكليّةِ والقلبيّةِ. (17)

قناةُ أستاكي Eustachian tube قناةٌ تصلُ الأذنَ الوسطى بتجويفِ الفمِ. (79)

القناةُ السمعيّةُ Auditory canal قناةٌ يمرُّ عبرَها الهواءُ إلى داخلِ الأذنِ. (79)

قناةُ فالوب Fallopian tube أنبوبٌ تنتقلُ عبرَهُ البيوضُ من المبيضِ إلى الرحمِ. (110)

قناةُ هافرس Haversian canal قناةٌ تحتوي على الأوعيةِ الدمويّةِ في نسيجِ العظمِ الكثيفِ. (11)

القناةُ الهلاليّةُ Semicircular canal قناةٌ في الأذنِ الداخليّةِ مملوءةٌ بالسائلِ وهي تسهمُ في الحفاظِ على التوازنِ وتتحكّمُ في الحركةِ. (80)

قوانينُ ازدواجِ القواعدِ Base - pairing rules القوانينُ التي تنصُّ على أنّ السايتوسينَ يزدوجُ مع جوانين وأن الأدينينَ يزدوجُ مع ثايمين في DNA، وأن الأدينينَ يزدوجُ مع اليوراسيل في RNA. (154)

القوقعةُ Cochlea قناةٌ حلزونيّةٌ توجدُ في الأذنِ الداخليّةِ، وهي ضروريّةٌ للسمعِ. (79)

ك

الكروموسومُ الجسميُّ Autosome كلُّ كروموسومٍ عدا الكروموسومِ الجنسيِّ. (166)

الكروموسومُ الجنسيُّ Sex chromosome واحدٌ من زوجَيِ الكروموسومين اللذين يحدّدانِ جنسَ الفردِ. (166)

الكودونُ Codon في DNA، تتابعٌ لثلاثِ نيوكليوتيداتٍ، وهو الذي يحدّدُ حمضًا أمينيًّا أو ينبّهُ إشارةَ بدايةٍ أو إشارةَ إيقافٍ. (157)

الكورتيزولُ Cortisol هرمونٌ ينظّمُ مراحلَ معيّنةً من أيضِ الكربوهيدراتِ والبروتين والماءِ، ويؤثّرُ في العضلاتِ، ويزيدُ من الإفرازاتِ المعديّةِ، ويساعدُ في استجابةِ الأنسجةِ للضررِ. (97)

الكيسُ الرهليُّ Amniotic sac الكيسُ الذي يكوّنُهُ الغشاءُ الرهليُّ. (116)

كيسُ الصَّفَنِ Scrotum الكيسُ الذي يحتوي على الخُصْيَتَيْنِ عند معظمِ الذكورِ من الثديّاتِ. (107)

ل

لاقمُ البكتيريا Bacteriophage فيروسٌ يصيبُ البكتيريا. (145)

لسانُ المزمارِ Epiglottis تركيبٌ غضروفيٌّ عند مدخلِ الحَنْجَرةِ يمنعُ دخولَ الطعامِ إلى الحنجرةِ والقصبةِ الهوائيّةِ أثناءَ البلعِ. (38)

لَقاحُ DNA vaccine DNA لَقاحٌ يُصنعُ من DNA لمسبِّبِ مرضٍ، وهو لا يستطيعُ التسبُّبَ في المرضِ. (197)

لسانُ المزمارِ Epiglottis تركيبٌ غضروفيٌّ عند مدخلِ الحَنْجَرةِ يمنعُ دخولَ الطعامِ إلى الحنجرةِ والقصبةِ الهوائيّةِ أثناءَ البلعِ. (38)

اللمفُ Lymph السائلُ الذي تجمعُهُ الأوعيةُ والعقدُ اللمفيّةُ. (31)

لوحةُ طرفِ العظمِ Epiphyseal plate الموقعُ الذي تنمو منهُ العظامُ في الطولِ وتوجدُ في طرفَي العظمِ الطويلِ عند المفاصلِ. (12)

الليفةُ العضليّةُ Muscle fiber خليّةٌ عضليّةٌ متعدِّدةُ الأنويةِ، من نسيجِ العضلةِ الهيكليّةِ والقلبيّةِ خاصّةً. (15)

اللُّيَيْفةُ العضليّةُ Myofibril حزمةُ التراكيبِ الخيطيّةِ الموجودةُ في خليّةِ عضلةٍ مخطّطةٍ والمكوّنةُ في الغالبِ من الأكتينِ والميوسينِ. (16)

م

المادةُ الخِلاليةُ Matrix مادّةٌ تحيطُ بالخلايا تعطي النسيجَ الضامَّ قوتَه ومرونَتَهُ، ويمكنُ أن تكونَ سائلةً أو شبهَ صلبةٍ أو صلبةً. (6)

المبيضُ Ovary عضوٌ يُنتِجُ البويضاتِ في الجهازِ التناسليِّ الأنثويِّ. (110)

المتّصَلُ Insertion في علمِ التشريحِ، النقطةُ التي عندها تُربَطُ عضلةٌ بعظمةٍ متحرّكةٍ. (19)

متعدِّدةُ الأليلاتِ Multiple alleles سمةٌ وراثيّةٌ واحدةٌ ذاتُ أكثرَ من أليلَيْنِ. (173)

متعدِّدُ الجيناتِ Polygenic يُظهِرُ صفةً تتأثَّرُ بعدّةِ جيناتٍ. (172)

المتنحّي Recessive صفةٌ للسمةِ أو الأليلِ اللذيْنِ يتمُّ التعبيرُ عنهما فقط عندما يورَّثُ أليلانِ متنحّيانِ للصفةِ نفسِها. (129)

المحورُ Axon امتدادٌ سيتوبلازميٌّ لخليّةٍ عصبيّةٍ ينقلُ السيّالاتِ بعيدًا عن جسمِ الخليّةِ. (67)

المخُّ Cerebrum القسمُ العلويُّ من الدماغِ الذي يتلقّى الإحساسَ ويتحكّمُ في الحركةِ. (73)

المخيخُ Cerebellum القسمُ الخلفيُّ من الدماغِ الذي يتحكّمُ في حركةِ العضلاتِ ويتحكّمُ أيضًا في الأنشطةِ اللاواعيةِ وبعضِ وظائفِ التوازنِ. (75)

مربّعُ بونيت Punnett square رسمٌ تخطيطيٌّ يُستخدَمُ لتوقُّعِ نتائجِ تزاوجٍ جينيٍّ. (134)

مرضُ الإيدز AIDS

Acquired Immune Deficiency Syndrome مرضٌ يسبِّبُهُ فيروسُ HIV، والإصابةُ بهِ تجعلُ جهازَ المناعةِ غيرَ فعّالٍ. (60)

مرضُ السكّريِّ Diabetes mellitus خللٌ خطيرٌ يجعلُ الخلايا غيرَ قادرةٍ على امتصاصِ الجلوكوزِ من الدمِ، وسببُهُ نقصٌ في الأنسولينِ، أو فقدانُ الاستجابةِ للأنسولينِ. (99)

المرضُ المُعْدي Infectious disease مرضٌ تسبِّبُهُ البكتيريا المسبِّبةُ للمرضِ أو الفيروساتُ أو الطلائعيّاتُ. (47)

مرضُ المناعةِ ضدَّ الذاتِ

Autoimmune disease مرضٌ يهاجمُ فيه جهازُ المناعةِ خلايا الجسمِ الذي هو فيه. (59)

مسبِّبُ المرضِ Pathogen فيروسٌ، أو كائنٌ حيٌّ دقيقٌ، أو كائنٌ حيٌّ آخرُ يسبِّبُ المرضَ. (47)

المستقبِلُ Receptor عصبٌ حِسِّيٌّ متخصِّصٌ يستجيبُ لأنواعٍ معيّنةٍ من التنبيهاتِ. (92)

المستقبِلُ الشمِّيُّ Olfactory receptor خليّةٌ موجودةٌ في الممرّاتِ الأنفيَّةِ تتنبَّهُ بواسطةِ بعضِ الموادِّ لتنتجَ سيّالاتٍ عصبيةً ينشأُ عنها حسُّ الشمِّ. (81)

مرضُ هانتنغتون Huntington's disease مرضٌ دماغيٌّ وراثيٌّ نادرٌ يتميَّزُ بحركاتٍ غيرِ إراديّةٍ للأطرافِ أو الوجه، ويخفِّضُ القدراتِ العقليّةَ، ويؤدّي في النهايةِ إلى الموتِ. (175)

المحيضُ Menstruation تدفُّقُ الدمِ وحطامِ الأنسجةِ من الرحمِ أثناءَ دورةِ الحيضِ. (113)

المخاضُ Labor العمليّةُ التي تُخرِجُ الجنينَ والمشيمةَ من الرحمِ. (118)

المسبارُ Probe هو RNA أو DNA أحاديُّ السلسلةِ المميَّزةِ بمادّةٍ مشعَّةٍ أو بصبغِ فلورسنت. (187)

المستنسَخُ Clone كائنٌ حيٌّ نتجَ من التكاثرِ اللاجنسيِّ وهو مماثلٌ جينيًّا لأحدِ أبويهِ، بحيثُ تكونُ النسخةُ مطابقةً وراثيًّا. (186)

مسلّماتُ كوخ Koch's postulates إجراءٌ من أربعِ مراحلَ وضعَهُ كوخ لتحديدِ مسبِّبِ مرضٍ معيَّنٍ يكونُ السببَ في حدوثِ هذا المرضِ. (47)

مشروعُ الجينومِ البشريِّ
Human genome project جهدٌ بحثٌ علميٌّ من أنحاءِ العالمِ لوضعِ خريطةٍ للمادَّةِ الوراثيَّةِ وتحديدِ تتابعِها. (189)

المشيمةُ Placenta التركيبُ الذي يربطُ الجنينَ الناميَ بالرحمِ، ويسمحُ بتبادلِ الموادِّ الغذائيّةِ والفضلاتِ والغازاتِ ما بين الأمِّ والجنينِ. (116)

DNA معادُ التركيبِ Recombinant DNA جزيئاتٌ تُصنَعُ عن طريقِ دمجِ DNA من مصادرَ مختلفةٍ. (186)

المعالجةُ الجينيّةُ Gene therapy تقنيَّةٌ تُدخِلُ جينًا إلى خليّةٍ لتصحيحِ مرضٍ وراثيٍّ أو لتحسينِ الجينومِ. (195)

المعلوماتيّةُ الأحيائيّةُ Bioinformatics تقنيَّةٌ تجمعُ علمَ الأحياءِ، وعلمَ المعلوماتيّةِ، وتقنيَّةَ المعلوماتِ للتمكينِ من اكتشافاتٍ أحيائيّةٍ جديدةٍ ومن توحيدِ المفاهيمِ. (192)

المفصلُ Joint المكانُ الذي تلتقي فيه عظمتانِ أو أكثرُ. (13)

المفصلُ الثابتُ Fixed joint مفصلٌ لا تحدثُ فيه حركةٌ، كمفاصلِ عظامِ الجمجمةِ. (13)

المفصلُ المتحرِّكُ Movable joint المفصلُ الذي تحدثُ فيه حركةٌ واسعةُ النطاقِ كالمفاصلِ الكرويّةِ. (13)

المفصلُ المحدودُ الحركةِ
Semimovable joint مفصلٌ تحدثُ فيه

حركةٌ محدودةٌ. ومن الأمثلةِ مفاصلُ عظامِ العمودِ الفقاريِّ. **(13)**

المناعةُ Immunity القدرةُ على مواجهةِ مرضٍ معدٍ. **(56)**

المِهادُ Thalamus قسمُ الدماغِ الذي يوجّهُ السيّالاتِ الحسّيَّةَ والحركيّةَ الآتيةَ من خارجِ الجسمِ إلى المكانِ الصحيحِ لتفسيرِها. **(74)**

المِهْبَلُ Vagina العضوُ التكاثريُّ الأنثويُّ الذي يربطُ خارجَ الجسمِ بالرحمِ، ويستقبلُ الحيواناتِ المنويّةَ أثناءَ التكاثرِ. **(111)**

المواقعُ المختلفةُ بنيوكليوتيدٍ واحدٍ Single nucleotide polymorphisims موقعُ DNA فريدٌ يختلفُ فيه الأفرادُ في نيوكليوتيدٍ واحدٍ، وهو مهمٌّ في وضعِ خريطةٍ للجينومِ. **(190)**

الموجِّهُ Vector في علمِ الأحياءِ، هو عاملٌ، مثلُ بلازميدٍ أو فيروسٍ، يمكنُهُ أن يدمجَ DNA غريبًا ضمنَ DNA الخاصِّ به وينقلَهُ من كائنٍ حيٍّ إلى آخرَ. **(186)**

موقعُ الابتداءِ Promotor تتابعٌ من نيوكليوتيداتِ DNA حيث يرتبطُ جزيءُ أنزيمِ بلمرةِ RNA ويبدأُ في نسخِ جينٍ معيَّنٍ. **(156)**

مولِّدُ الضدِّ Antigen مادّةٌ تنشّطُ استجابةً مناعيّةً. **(34، 52)**

الميلاتونينُ Melatonin هرمونٌ تنتجُهُ ليلاً الغدّةُ الصنوبريّةُ، وهو يسهمُ في تنظيمِ دوراتٍ بيولوجيّةٍ معيّنةٍ، كأنماطِ النومِ. **(100)**

الميوسينُ Myosin البروتينُ الأكثرُ وفرةً في نسيجِ العضلةِ، وهو المكوِّنُ الرئيسُ للخيوطِ السميكةِ لأليافِ العضلةِ. **(16)**

ن

RNA الناقلُ Transfer RNA (tRNA) جزيءُ RNA ينقلُ أثناءَ الترجمةِ الأحماضَ الأمينيّةَ إلى طرفِ سلسلةِ عديدِ ببتيدٍ ناميةٍ. **(155)**

الناقلُ العصبيُّ Neurotransmitter مادّةٌ كيميائيّةٌ تنقلُ السيّالاتِ العصبيّةَ عبر التشابكِ العصبيِّ. **(67)**

النبضُ Pulse ضغطُ الدمِ المنتظمُ على داخلِ جدرانِ وعاءٍ دمويٍّ، وخاصةً الشّريانَ. **(28)**

نُخاعُ العظمِ Bone marrow النسيجُ الليِّنُ داخلَ العظامِ، حيثُ تُنْتَجُ خلايا دمٍ حمراءُ وبيضاءُ. **(11)**

النُّخاعُ المستطيلُ Medulla oblongata عند الإنسانِ، هو القسمُ الأسفلُ من جذعِ الدماغِ، وهو ينظّمُ دورانَ الدمِ، والتنفُّسَ وبعضَ الحواسِّ الخاصّةِ. **(74)**

نسبةُ الطرازِ الجينيِّ Genotypic ratio نسبةُ الطرزِ الجينيّةِ التي تظهرُ عند الأبناءِ. **(135)**

نسبةُ الطرازِ المظهريِّ Phenotypic ratio نسبةُ الطُّرُزِ المظهريَّةِ الناتجةِ عن تزاوجٍ. **(135)**

النسخُ Transcription عمليّةُ بناءِ حمضٍ نوويٍّ باستعمالِ جزيءٍ آخرَ كقالبٍ، وخصوصًا عمليّةَ بناءِ RNA باستخدامِ سلسلةٍ واحدةٍ من DNA كقالبٍ. **(154)**

النسيجُ الضامُّ Connective tissue نسيجٌ يشتملُ على كثيرٍ من المادّةِ الخلاليّةِ ويوصلُ الأنسجةَ الأخرى ويدعمُها. **(6)**

النسيجُ الطلائيُّ Epithelial tissue نسيجٌ يتكوّنُ من صفيحةِ خلايا، ويغطّي سطحَ الجسمِ أو يغلّفُ تجويفَهُ. **(6)**

النسيجُ العصبيُّ Nervous tissue نسيجُ الجهازِ العصبيِّ الذي يشتملُ على الخلايا العصبيَّةِ والخلايا الداعمةِ والنسيجِ الضامِّ. **(5)**

النسيجُ العضليُّ Muscle tissue نسيجٌ مكوَّنٌ من خلايا تستطيعُ أن تتقلّصَ وتنبسطَ لإنتاجِ الحركةِ. **(5)**

النظامُ المتمِّمُ Complement system جهازٌ من بروتيناتٍ تجولُ في مجرى الدمِ وترتبطُ بأجسامٍ مضادّةٍ لتوفّرَ الحمايةَ من مولّداتِ الضدِّ. **(50)**

نقصُ الأكسجينِ Oxygen debt الكمّيَّةُ الإضافيّةُ من الأكسجينِ التي يجبُ أن تؤخذَ بواسطةِ الجسمِ لإعادةِ إمدادِ العضلاتِ بالأكسجينِ، للسماحِ بتحليلِ الحمضِ اللبنيِّ ضمنَ العضلاتِ، خصوصًا بعد نشاطٍ مجهدٍ. **(20)**

النقيُّ Homozygous صفةُ فردٍ ذي أليّلَينِ متماثلَينِ لسمةٍ على كروموسومَينِ متماثلَينِ. **(133)**

نقيُّ السلالةِ True-breeding مفردةٌ تصفُ الكائناتِ الحيّةَ أو الطُّرُزَ الجينيّةَ النقيّةَ لسمةٍ معيّنةٍ، فهي إذنْ تُنتِجُ دائمًا أبناءً بالطرزِ المظهريّةِ نفسِها للسمةِ. **(127)**

النهايةُ العصبيَّةُ Nerve ending نهايةُ محورِ الخليّةِ العصبيّةِ. **(67)**

النورإيبينفرينُ Norepinephrine هذه المادّةُ الكيميائيّةُ هي عبارةٌ عن ناقلٍ عصبيٍّ تنتجُهُ النهاياتُ العصبيّةُ الوديّةُ في الجهازِ العصبيِّ الذاتيِّ، وهي هرمونٌ ينتجُهُ النخاعُ الكظريُّ لتنبيهِ وظائفِ الجهازِ الدوريِّ والجهازِ التنفّسيِّ على الأخصِّ. **(97)**

النيكوتينُ Nicotine مادّةُ إدمانٍ قلويةٌ سامّةٌ مشتقّةٌ من التبغِ، وهي إحدى الموادِّ التي تسهمُ في التأثيراتِ المؤذيةِ للتدخينِ. **(86)**

النيوكليوتيدُ Nucleotide هو، في سلسلةِ حمضٍ نوويّةٍ، وحدةٌ بنائيّةٌ تتألّفُ من سكّرٍ وفوسفاتٍ وقاعدةٍ نيتروجينيّةٍ. **(147)**

هـ

الهجينُ Heterozygous يصفُ فردًا ذا أليّلَينِ مختلفينِ لسمةٍ واحدةٍ. **(133)**

الهرمونُ Hormone مادّةٌ تنتجُها خلايا لتقومَ بتنظيمِ أنشطةِ خلايا أخرى في الجسمِ. **(91)**

الهرمونُ الببتيديُّ Peptide hormone هرمونٌ مكوَّنٌ من أحماضٍ أمينيّةٍ، أو ببتيداتٍ، أو بروتيناتٍ. **(91)**

الهرمونُ الستيرويديُّ Steroid hormone نوعٌ من الهرمونِ مشتقٌّ من الكوليسترولِ. ويوجدُ عدّةُ هرموناتٍ ستيرويديّةٍ تنتجُها القشرةُ الكظريّةُ والخصيةُ والمبيضُ والمشيمةُ. **(91)**

الهرمونُ الكوريونيُّ المنبِّهُ للغددِ التناسليَّةِ Human chorionic gonadotropin هرمونٌ تفرزُهُ المشيمةُ، وينبِّهُ الجسمَ الأصفرَ للاستمرارِ في إفرازِ البروجسترونِ. **(117)**

الهرمونُ المنبِّهُ للجسمِ الأصفرِ Luteinizing hormone هرمونٌ ينبِّهُ الإباضةَ وإفرازَ البروجسترونِ بواسطةِ الجسمِ الأصفرِ عند الإناثِ، وإفرازَ التستستيرونِ عند الذكورِ. **(97)**

الهرمونُ المنبِّهُ للحوصلةِ Follicle-stimulating hormone هرمونٌ منبِّهٌ للغددِ التناسليّةِ ينبِّهُ إنتاجَ الحيواناتِ المنويّةِ عند الذكورِ، ونموَّ ونضوجَ الحوصلاتِ المبيضيَّةِ عند الإناثِ. **(97)**

الهستامينُ Histamine مادّةٌ كيميائيّةٌ تنبِّهُ الجهازَ العصبيَّ الذاتيَّ، وتوسِّعُ الشرايينَ الدمويّةَ. **(49)**

الهندسةُ الوراثيَّة Genetic engineering تقنيَّةُ تعديلِ الجينومِ في خليّةٍ حيّةٍ للاستعمالِ الطبِّيِّ أو الصناعيِّ. **(186)**

الهيكلُ العظميُّ Skeleton عظامُ جسمِ الإنسانِ أو الحيوانِ، وهي تدعِّمُ العضلاتِ والأعضاءَ، وتحمي الأعضاءَ الداخليَّةَ. **(9)**

الهيكلُ العظميُّ الطرفيُّ Appendicular skeleton عظامُ الأذرعِ والأرجلِ معًا بالإضافةِ إلى لوحِ الكتفِ وعظمةِ الترقوةِ وعظامِ الحوضِ. **(9)**

الهيكلُ العظميُّ المحوري Axial skeleton عظامُ الجمجمةِ، وعظامُ الأضلاعِ والعمودِ الفقاريِّ، وعظمةُ القصِّ. **(9)**

الهيموكلوبينُ Hemoglobin بروتينٌ في خلايا الدمِ الحمراءِ، يحملُ الأكسجينَ. **(32)**

و

الوترُ Tendon نسيجٌ ضامٌّ قاسٍ يربطُ عضلةً إلى عظمةٍ أو إلى عضوٍ آخرَ في الجسمِ. **(18)**

وحدةُ الخريطةِ Map unit المسافةُ التي تفصلُ بين جينَيْنِ نسبةُ العبورِ بينهما 1%. **(169)**

الوراثةُ Heredity انتقالُ الصفاتِ والسماتِ الوراثيّةِ من الآباءِ إلى الأبناءِ. **(125)**

الوريد Vein عند الحيواناتِ، هو وعاءٌ ينقلُ الدمَ إلى القلب. **(29)**

الوعاءُ الناقلُ Vas deferens قناةٌ تمرُّ عبرَها الحيواناتُ المنويّةُ من البربخِ لتخرجَ من الإحليلِ في القضيبِ. **(108)**